

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко  
(підпис)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### **ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за напрямом підготовки: 13 – Машинобудування**

**спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування**

**спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв**

**на тему: Модернізація кожухотрубного теплообмінника установки виробництва етилового спирту. Комплексний**

**Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51**

Коваль Вадим Олександрович

**Керівник проекту** доцент, канд. техн. наук, І. А. Андреев  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**  
з охорони праці доцент, канд. техн. наук, І. М. Ковтун  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

з економіки асистент, канд. техн. наук, С. С. Гайдай  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент:**  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ В. О. Коваль

Київ – 2019

## Реферат

УДК 66.045.122

Модернізація кожухотрубного теплообмінника для нагрівання розчину етанолу. Комплексний: Дипломний проект ОКР «Бакалавр» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Керівник – І. А. Андреев. – К., 2019. - 130 с. Виконавець. – В. О. Коваль. – Бібліогр.: 95 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 95 с. основного тексту, 19 рисунків, 3 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є проектування і розробка конструкції кожухотрубного теплообмінника, призначеного для нагрівання розчину етанолу продуктивністю 1,611 кг/с.

Поставлена задача досягається шляхом аналітичного визначення поверхні теплообміну, виконанням параметричного, гідравлічного, конструктивного розрахунків та розрахунків на міцність основних вузлів: товщини внутрішньої обичайки та еліптичного днища. Для перевірного розрахунку товщини стінки еліптичного днища наведені алгоритмічна схема, таблиця ідентифікаторів, та програма, виконана на алгоритмічній мові Mathcad 15. Виконано аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної літератури.

Розрахунково-пояснювальна записка містить схему і опис технологічної схеми установки виробництва етилового спирту, та опис конструкції кожухотрубного теплообмінника для нагрівання розчину етанолу. Графічна частина проекту включає чотири креслення формату А1, що містять: технологічну схему установки виробництва етилового спирту і чотири креслення формату А2.

Здійснено патентний пошук та порівняння вибраної конструкції з аналогами. За цими даними вибрано вдосконалені конструктивні розміри апарата.

НАГРІВАННЯ , ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, КОЖУХОТРУБНИЙ, ТЕПЛООБМІННИК, ТЕПЛООБМІН, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ.

Модернизация кожухотрубного теплообменника для нагревания раствора этанола. Комплексный: Дипломный проект ОКР «Бакалавр» / КПИ им. Игоря Сикорского; Руководитель - И. А. Андреев. - К., 2019. - 130 с. Исполнитель. - В. О. Коваль. – Библиогр.: 95 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 разделов, выводов, списка ссылок из 14 наименований. Общий объем работы составляет 95 с. основного текста, 19 рисунков, 3 таблицы и 4 приложений.

Целью проекта является проектирование и разработка конструкции кожухотрубного теплообменника предназначенного для нагрева раствора этанола производительностью 1,611 кг/с.

Поставленная задача достигается путем аналитического определения поверхности теплообмена, выполнением параметрического, гидравлического, конструктивного расчетов и расчетов на прочность основных узлов: толщины внутренней обечайки и эллиптического днища. Для проверочного расчета толщины эллиптического днища приведены алгоритмическая схема, таблица идентификаторов, и программа, выполненная на алгоритмическом языке Mathcad 15. Выполнен анализ результатов и сделаны выводы. Приведен список использованной литературы.

Расчетно-пояснительная записка содержит схему и описание технологической установки производства этилового спирта и описание конструкции кожухотрубного теплообменника для нагревания раствора этанола. Графическая часть проекта включает четыре чертежи формата А1, содержащие технологическую схему установки производства этилового спирта, сборочный чертеж теплообменника и четыре чертеж формата А2.

Осуществлен патентный поиск и сравнение выбранной конструкции с аналогами. По этим данным выбрано усовершенствованные конструктивные размеры аппарата.

НАГРЕВАНИЕ, ЭТИЛОВЫЙ СПИРТ, КОЖУХОТРУБНЫЙ, ТЕПЛООБМЕННИК, ТЕПЛООБМЕН, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.

## **Abstract**

UDC 66.045.122

The Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of shell and tube heat exchanger of ethyl alcohol production plant. Complex ": / National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Scientific supervisor – I. Andreev. – K., 2019.- 130 p. Developer. – V. Koval. – Bibliography: 95 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a reference list of 14 items. The total volume of work 95p., 19 figures, 4 tables and 4 appendices.

The objective of the study is to design and the development of the design shell and tube heat exchanger is designed to cool ethyl alcohol capacity of 1,611 kg / s.

The assigned aim is attained by the analytical definition of a heat exchanger surface, by performance of hydraulic, flange connections calculations and also on the strength of the main units: the thickness of the inner shell and the elliptic bottom. For the verification of the thickness of the wall of the elliptic bottom of the apparatus, an algorithmic scheme, a table of identifiers are given and a program is executed in the algorithmic language Mathcad 15. The analysis of given is resulted and conclusions are designed. There is a list of the bibliography.

The calculation and explanatory note contains a description of the technological scheme of the processing of the production ethyl alcohol and a description of the design of the shell and tube heat exchanger to heat ethyl alcohol. The graphical part of the project includes four drawings A1, containing the technological scheme of the ethyl alcohol production, the assembly drawing of the heat exchanger and four drawing of A2 format.

It was carried out the patent search and the comparing of the chosen design of analogues. Based on the data, the improved design size of the machine was chosen.

HEATING, ETHYL ALCOHOL, SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER, HEAT EXCHANGE, HEAT TRANSMISSION COEFFICIENT

### Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	12
Вступ.....	13
1 Призначення та область застосування теплообмінного апарата .....	14
1.1 Опис технологічного процесу .....	14
1.2 Вибір типу теплообмінника і його місце в технологічній схемі .....	15
2 Технічна характеристика теплообмінника .....	17
3 Опис та обґрунтування конструкції апарата .....	18
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей .....	18
3.2 Вибір матеріалів.....	19
3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами.....	19
3.4 Патентний огляд конструкції апарата .....	21
4 Охорона праці .....	27
4.1 Повітря робочої зони.....	27
4.2 Електробезпека .....	28
4.3 Пожежна безпека .....	30
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата.....	34
5.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата .....	34
5.2 Перевірка теплоізоляції апарата .....	39
5.3 Конструктивний розрахунок .....	41
5.4 Визначення діаметрів штуцерів .....	42
5.5 Гідравлічний розрахунок .....	44
5.6 Проектний розрахунок товщини стінки внутрішньої обичайки апарата під дією внутрішнього тиску .....	45
5.7 Розрахунок товщини еліптичного днища під дією внутрішнього тиску.....	48
5.8 Розрахунок товщини трубної решітки.....	49
5.9 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	50

					ЛН51.065111.001 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Коваль				Модернізація кожухотрубного т.о. установки виробництва етилового спирту	Літ.	Лист	Листів	
Перев.	Андрєєв						10	96	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського”, ІХФ, МАХНВ			
Н.Контр.	Степанюк								
Затв.									

5.10	Розрахунок стійкості циліндричної обичайки під дією опорних навантажень .....	60
6	Рекомендації з монтажу і експлуатації .....	70
7	Рівень стандартизації та уніфікації .....	73
8	Техніко-економічне обґрунтування модернізації .....	74
8.1	Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення .....	74
8.2	Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню теплообмінника.....	75
	Висновки .....	80
	Выводы .....	82
	Conclusions .....	84
	Перелік посилань.....	85
	Додаток А Документація до патентного дослідження .....	87
	Додаток Б Програмний розрахунок товщини еліптичного днища під дією внутрішнього тиску .....	92
	Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	96
	Додаток Г Публікації автора .....	97

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

$G$  – продуктивність, кг/с;

$V$  – об’ємна витрата, м<sup>3</sup>/с;

$P$  – тиск, МПа;

$F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>;

$t$  – температура, К;

$r$  – термічний опір, м<sup>2</sup> · К/Вт;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в’язкості, Па · с;

$c$  – питома теплоємність, Дж/(кг · К);

$Q$  – теплові витрати, Вт;

$\omega$  – швидкість, м/с;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К);

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> · К);

$S$  – товщина, м;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$\sigma$  – напруження в матеріалі, МПа;

$[\sigma]$  – допустиме напруження, МПа;

$\phi$  – коефіцієнт міцності зварного шва;

$N$  – потужність, Вт;

Критерії:

$Pr$  – критерій Прандтля;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Nu$  – критерій Нусельта.

## Вступ

В харчових, фармацевтичних, хімічних та нафтопереробних галузях промисловості одним з найважливіших процесів є теплообмін, тому що процеси масообміну та хімічні реакції тісно пов'язані з виділенням тепла, випаровуванням охолодженням та конденсацією. Для проведення процесів теплообміну використовують теплообмінні апарати, які призначені для нагрівання або охолодження технологічних середовищ для переробки речовин, або для утилізації теплоти.

Теплообмінні апарати використовують в хімічних, нафтопереробних та суміжних галузях промисловості для постійного підведення або відведення теплоти від одного теплоносія до іншого. Для різних умов використання вибирають теплообмінники певних конструкцій. У кожній конструкції теплообмінної апаратури існують переваги та недоліки, для виявлення яких спочатку проводять параметричні розрахунки, якщо недоліків не виявлено, то застосовують вибрану конструкцію, інакше вибирають інший тип теплообмінних апаратів.

Для запобігання високих витрат матеріалів потрібно раціонально, відповідно до вимог, вибирати необхідну конструкцію апаратів, які будуть забезпечувати задані технічні характеристики, та відповідатимуть вимогам безпеки. Для кожного вибраного апарата проводять розрахунки, що підтвердять працездатність та надійність апарата в даній технологічній схемі.

У проекті розроблена конструкція кожухотрубного теплообмінника для нагрівання розчину етанолу.

Метою дипломного проекту є розробка конструкції кожухотрубного теплообмінника установки виробництва етилового спирту, проведення необхідних розрахунків, розроблення креслень.

Завдання отримав 15 квітня 2019 року.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



# 1 Призначення та область застосування теплообмінного апарата

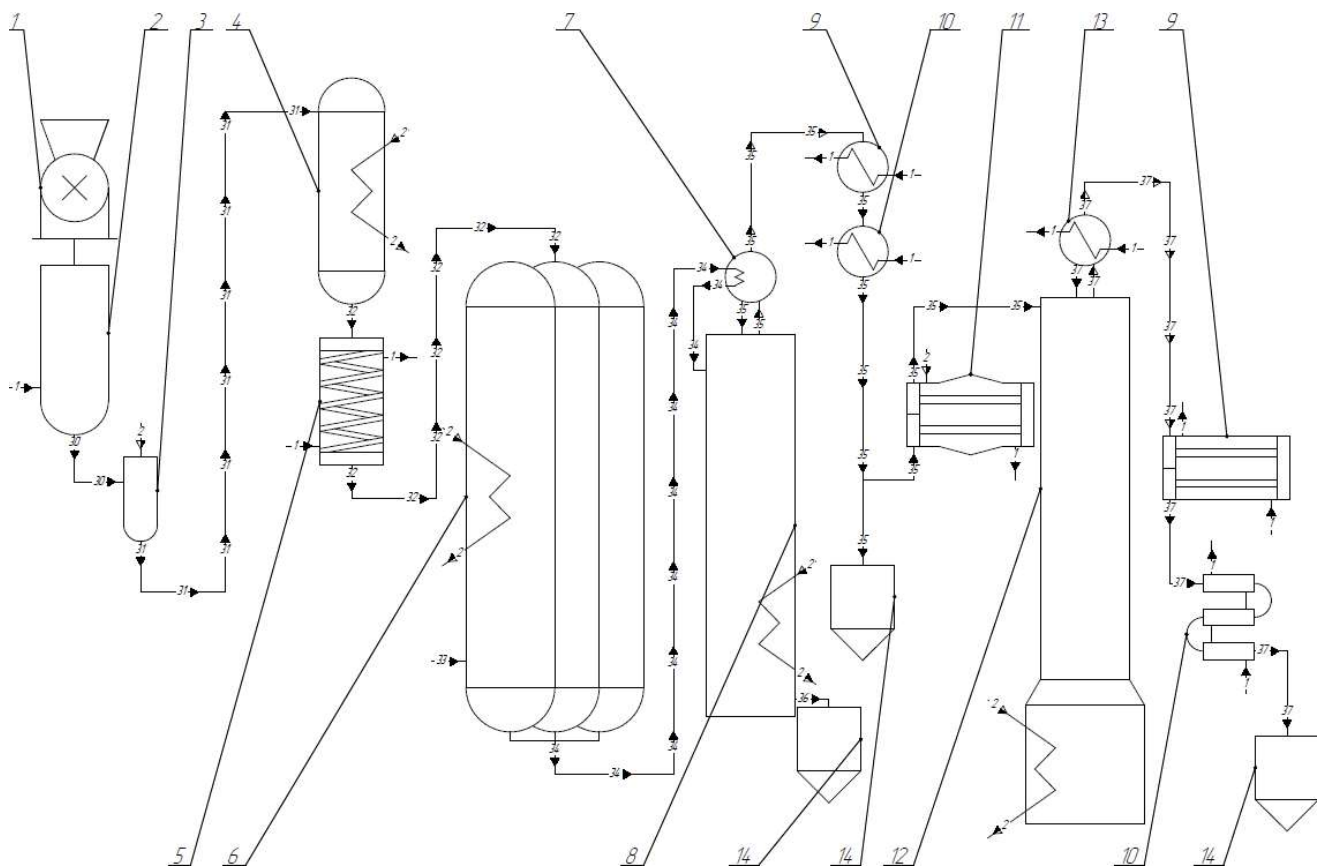
## 1.1 Опис технологічного процесу

Виробництво етилового спирту складається з двох біохімічних процесів[1]:

- гідроліз (цукрування) крохмалю, що міститься в сировині, і зброджування отриманих цукрів в спирт і вуглекислий газ;
- фізичний процес поділу рідин по точкам кипіння.

Виробництво складається з таких технологічних процесів:

- підготовка сировини: мийка, очищення від сторонніх домішок – поз. 1, 2 (рисунок 1.1);



- 1 – млин; 2 – змішувач; 3 – варильний апарат; 4 – оцукрювач; 5 – холодильник;  
6 – бродильний апарат; 7 – підігрівач-дефлегматор; 8 – колона перегонки;  
9 – конденсатор; 10 – охолоджувач; 11 – кожухотрубний теплообмінник;  
12 – ректифікаційна колона; 13 – дефлегматор; 14 – збірник

Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки виробництва етилового спирту

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- теплова обробка: розварювання з водою при температурі 120-150 °C і тиску не менше 588 кПа для руйнування клітинної структури і розчинення крохмалю – поз. 3;
- оцукрювання крохмалю під дією амілолітичних ферментів на протязі 5-8 хвилин – поз. 4;
- охолодження отриманої сировини до 37 °C – поз. 5;
- зброджування мальтози і декстринів (після перетворення їх в мальтозу) в етиловий спирт і вуглекислий газ під дією ферментів дріжджів для отримання зрілої браги, що містить 7-10% спирту – поз. 6;
- підігрівання браги до температури, необхідної для перегонки в колоні перегонки – поз. 7;
- перегонка браги в спирт-сирець, що містить 88 % етилового спирту по об'єму та домішки після процесу бродіння – поз. 8;
- підігрівання спирту-сирцю до температури 83,75 °C для подачі на живильну тарілку ректифікаційної колони – поз. 11;
- повторна перегонка спирту-сирцю в ректифікаційній колоні для відділення домішок та отримання ректифікату з 96 % етилового спирту по об'єму – поз. 12.

## 1.2 Вибір типу теплообмінника і його місце в технологічній схемі

Кожухотрубні теплообмінники широко застосовують в усіх галузях промисловості, через їх переваги в порівнянні з теплообмінниками інших типів.

Кожухотрубні теплообмінники застосовуються в хімічній, коксогазовій, цукровій та харчовій галузях промисловості. В хімічній промисловості застосовуються в якості теплообмінників для виробництва сірчаної, азотної, фосфорної кислот; в харчовій промисловості для виробництва лимонної кислоти, тощо.

Кожухотрубні теплообмінники всіх конструкцій знайшли застосування для систем рідина-рідина, рідина-пар, пар-газ в якості нагрівачів, охолоджувачів,

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

випарників та конденсаторів, також використовують для охолодження та нагріву паро-газових сумішей. Одне з призначень кожухотрубних теплообмінників – нагрів та охолодження забруднених рідин, рідин з високою в'язкістю та розчинів, що містять волокнисті матеріали. Оскільки в'язка рідина проходить по одному каналу, то усувається проблема рівномірного розподілення в'язкої рідини по трубах і забезпечується ефективна робота апарата.

Кожухотрубні теплообмінники з нерухомими трубними решітками мають просту конструкцію та низьку вартість виготовлення у порівнянні з іншими стандартними теплообмінниками.

Крім того кожухотрубні теплообмінні апарати мають низку переваг: високий коефіцієнт теплопередачі, змога утилізації тепла, невеликий гідравлічний опір, компактність, мала забруднюваність поверхні теплообміну, можливість здійснювати рух теплоносіїв протитечією.

В даній технологічній схемі для проведення процесу нагрівання 35% розчину етанолу застосовується горизонтальний кожухотрубний теплообмінник. Нагрівання відбувається за допомогою водяного пару, який є найбільш розповсюдженим теплоносієм для нагрівання. Отриманий нагрітий розчин етанолу подають на живильну тарілку ректифікаційної колони для подальшої ректифікації.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технічна характеристика теплообмінника

Апарат призначено для нагрівання розчину етанолу.

1.Продуктивність, кг/с – 1,611.

2.Температура, К:

а) розчину етанолу на вході – 293;

б) розчину етанолу на виході – 356,75;

в) водяного пару на вході – 385,7;

г) води на виході – 385,7.

3.Середовища у апарата:

а) у трубному просторі – розчин етанол-вода (35% етанолу по об'єму);

б) у міжтрубному просторі – водяний пар, що конденсується.

4.Робочий тиск, МПа :

а) у трубному просторі – 0,1;

б) у міжтрубному просторі – 0,16.

5.Габаритні розміри:

а) довжина – 4,680 м ;

б) ширина – 0,620 м ;

в) висота – 0,770 м ;

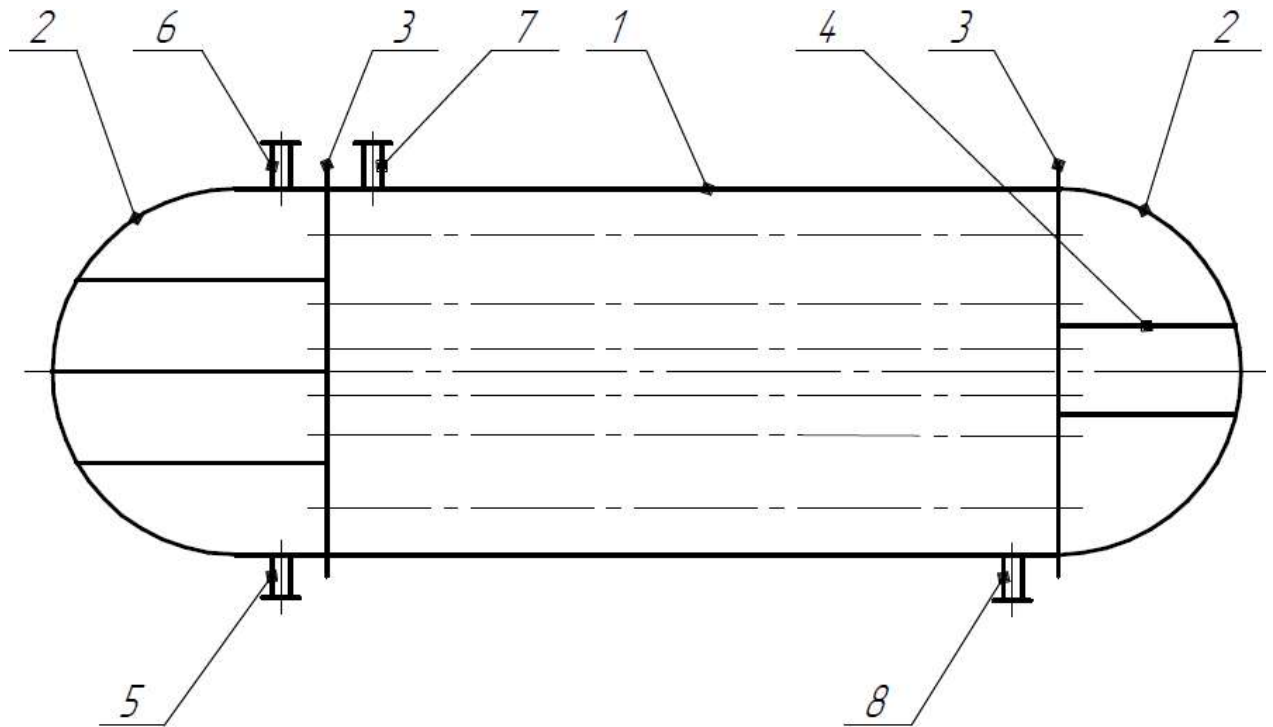
г) маса – 1050 кг .

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 Опис та обґрунтування конструкції апарата

#### 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей

Схема багатоходового горизонтального кожухотрубного теплообмінника представлена на рисунку 3.1.



- 1 – корпус; 2 – еліптичне днище; 3 – трубна решітка; 4 – перегородки;  
5 – штуцер вводу розчину етанолу; 6 – штуцер виводу розчину етанолу;  
7 – штуцер вводу водяного пару; 8 – штуцер виводу води

Рисунок 3.1 – Багатоходовий горизонтальний кожухотрубний теплообмінник

Застосування у технологічному процесі багатоходового горизонтального кожухотрубного теплообмінника зменшує габаритні розміри та ціну апарата. В модернізованому кожухотрубному теплообміннику застосовується метод внутрішньої теплоізоляції, що зменшує затрати теплоти теплоносія, та зменшує габаритні розміри апарата. Для цього в зовнішній корпус теплообмінного апарата вварюють шестигранну внутрішню обичайку, яка спирається на ребра жорсткості, приварені до зовнішньої обичайки. В простір, що утворюється між зовнішньою та

внутрішньою обичайками закладають ізолятор ПСБ – С-15. Для теплоізоляції кришок використовують мінеральну вату.

За рахунок такого методу теплоізоляції зменшуються витрати теплоти теплоносіїв та не змінюються розміри апарата.

При модернізації даного апарата використовуємо теплообмінник відповідно до [2] шестиходовий горизонтальний кожухотрубний теплообмінник типу ТН з трубами 25х2 мм, зовнішній діаметр кожуха 500 мм, число труб  $n = 60$ , довжина труб  $l = 4$  м, площа теплообміну  $F = 15,82 \text{ м}^2$ .

### 3.2 Вибір матеріалів

Матеріали виготовлення апарата вибираємо згідно [3].

Робота апарата проходить при контакті з вологою, тому кожух та труби виготовляється із легованої нержавіючої сталі марки сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632–88) границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 520 МПа. Патрубки, фланці та кришки також виготовлені із сталі 12Х18Н10Т. Болти – якісна вуглецева сталь марки 35 (ГОСТ 1050–88), які використовуються для деталей машин з підвищеними вимогами; границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 540 МПа. Гвинти установчі виготовляються із якісної вуглецевої сталі марки 10 (ГОСТ 1050–88). Шайби виготовляються із сталі Ст3 (ГОСТ 380-2005); границя міцності такої сталі при розтягуванні не менше 380–470 МПа. Прокладки виготовляються із пароніту (ГОСТ 7338–77). Теплоізоляція – базальтова вата (ГОСТ 4640-2011).

### 3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами

Метою є порівняння обраної конструкції апарата з аналогами та обґрунтування доцільності використання обраного кожухотрубного теплообмінника.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

В порівнянні з пластинчастим теплообмінником, за конструкцією запропонований в даній роботі кожухотрубний теплообмінник суттєво відрізняється. По-перше він застосовується для більшого діапазону тисків. По-друге, можливістю теплообміну на більш високих температурах в порівнянні з пластинчастими.

В порівнянні зі спіральним теплообмінником, за конструкцією запропонований в даній роботі кожухотрубний теплообмінник також суттєво відрізняється. Він має меншу площу теплообміну ніж спіральний, менші габаритні розміри, більш просту конструкцію. Спіральні теплообмінники складні в обслуговуванні, дорожчі за кожухотрубні, мають великі гідравлічні опори та характеризуються поганою герметичністю.

В таблиці 3.1 наведена порівняльна характеристика вище наведених апаратів[2].

Таблиця 3.1 – Порівняльні дані апарата, який проектується і його аналогів

Назва	Кожухотрубний т.о.	Спіральний т.о.	Пластинчастий т.о.
Продуктивність, кг/с	1,611	1,7	1,6
Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup>	15,82	18	16
Маса апарата, кг	1080	1440	1760
Складність конструкції	Складна	Складна	Проста
Ціна, грн.	250000	300000	320000

Перевагою апарата, що проектується є менша маса, відносна дешевизна та висока продуктивність в порівнянні з аналогами, які мають таку саму площу поверхню теплообміну.

### 3.4 Патентний огляд конструкції апарата

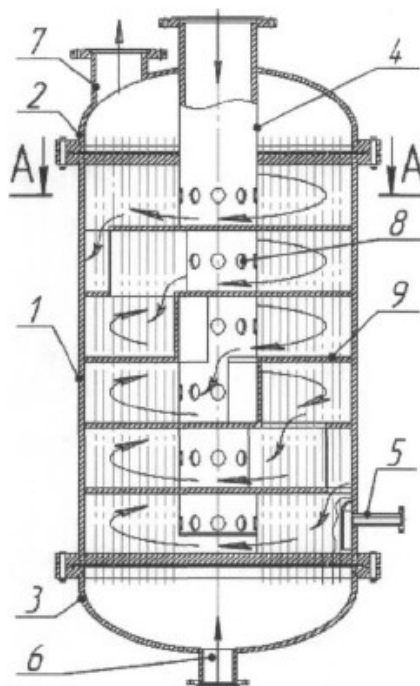
Мета пошуку – знайти патенти апаратів, які за принципом дії найбільш схожі з розроблюваним апаратом.

Порівняння конструкції проводиться з аналогами країн: Україна, Росія, Сполучені Штати Америки.

Для перевірки чистоти конструкції апарата проводимо патентний пошук, результатом якого стане знаходження об'єктів порівняння. Відібрані конструкції детально порівнюємо з нашою конструкцією. Результати пошуку наведені в додатку А.

Предметом пошуку є кожухотрубний теплообмінник. Для докладного аналізу було обрано патенти [4-8].

У патенті [4] представлено кожухотрубний теплообмінник (рисунок 3.2), який призначено для здійснення теплообміну між теплоносіями, одним з яких є гріючий пар, він містить трубчатку, кришку та днище.

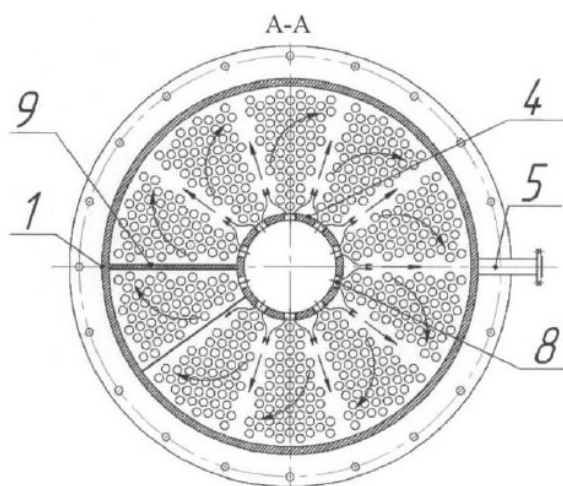


1 – трубчатка; 2 – кришка; 3 – днище; 4 – центральна труба; 5 – штуцер для виходу конденсату; 6 – штуцер для подачі холодного теплоносія; 7 – штуцер для виходу вторинної пари; 8 – концентричні отвори; 9 – перегородки

Рисунок 3.2 – Кожухотрубний теплообмінник



Новим є те, що перегородки (поз. 9, рисунок 3.3) виконано у вигляді секторів з прорізами та відігнутими перегородками, які утворюють спіральні сходи.



1 – трубчатка; 4 – центральна труба; 5 – штуцер для виходу конденсату; 8 – концентричні отвори; 9 – перегородки

Рисунок 3.3 – Розріз А-А кожухотрубного теплообмінника

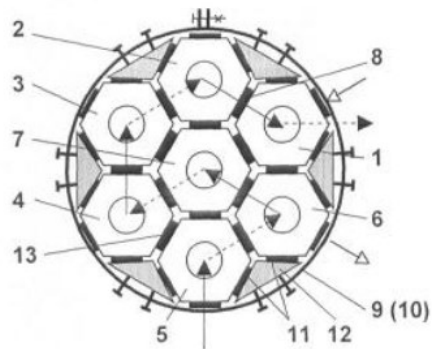
Переваги:

- 1) прискорений нагрів холодного теплоносія, що призводить до значної економії гріючого агента;
- 2) підвищується термін експлуатації.

Недоліки:

- 1) складність у виготовленні;
- 2) великий гідравлічний опір.

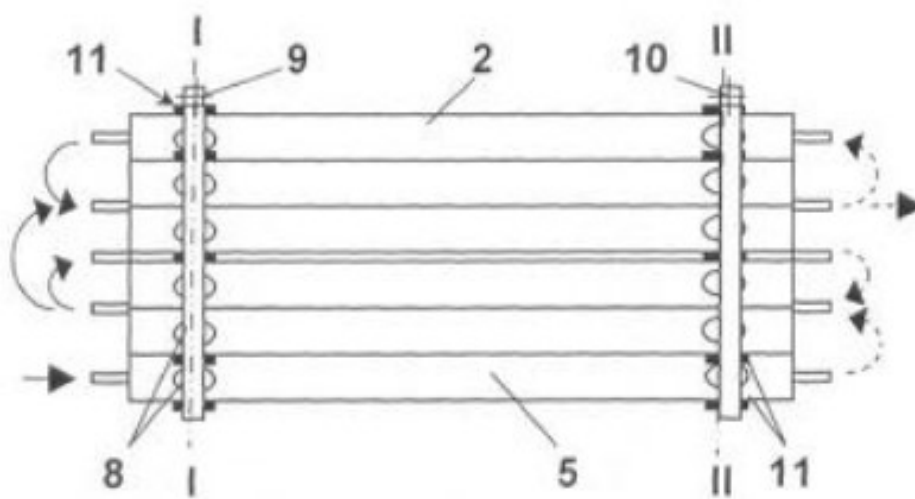
У патенті [5] представлено кожухотрубний теплообмінник з секційною будовою (рисунок 3.4), в якому містяться виготовлені секції у вигляді прямих правильних шестигранників з трубним і міжтрубними просторами, міжтрубний простір сусідніх секції при цьому сполучують між собою за допомогою встановлення патрубків в кожную із секцій на двох рівнях на бокових гранях, секції стягують між собою кільцевими хомутами, а вільні патрубки закривають заглушками.



1-7 – секції; 8 – патрубки; 9, 10 – хомути;

11 – заглушки; 12 – натискні вкладиші

Рисунок 3.4 – Вигляд з торця кожухотрубного теплообмінника



2, 5 – секції; 8 – патрубки; 9, 10 – хомути; 11 – заглушки; 12 – натискні вкладиші

Рисунок 3.5 – Загальний вигляд теплообмінника

Переваги:

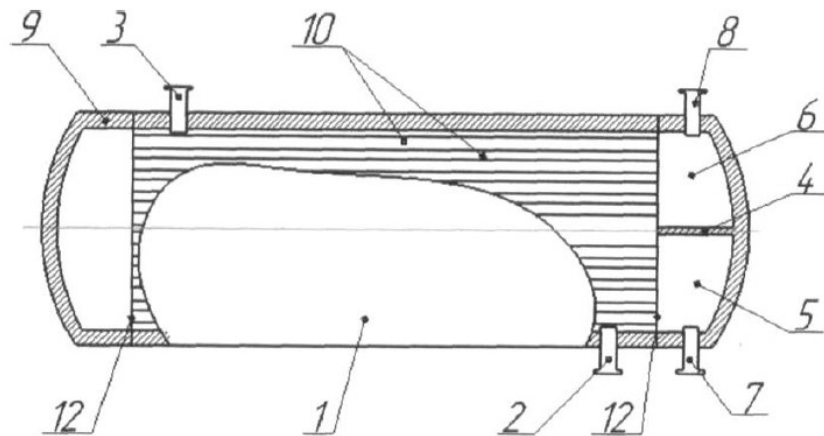
- 1) надійне притискання заглушок до відповідних патрубків;
- 2) надійна герметизація вільних патрубків секцій.

Недоліки:

- 1) висока металоємність;
- 2) складність в виготовленні та експлуатації.

У патенті [6] на корисну модель представлено кожухотрубний теплообмінник (рисунок 3.6), що має вигляд циліндричного кожуха, закритий

кришкою та днищем, має дві трубні решітки із закріпленими в них теплообмінними рельєфними трубами, виступи яких розташовані на внутрішній поверхні.



1 – циліндричний кожух; 2 – патрубки підведення продукту;  
 3 – патрубки відведення продукту; 4 – перегородка; 5 – камера подачі теплоносія; 6 – камера відводу теплоносія; 7, 8 – штуцери; 9 – днище;  
 10 – теплообмінні труби; 12 – трубна решітка  
 Рисунок 3.6 – Кожухотрубний теплообмінник

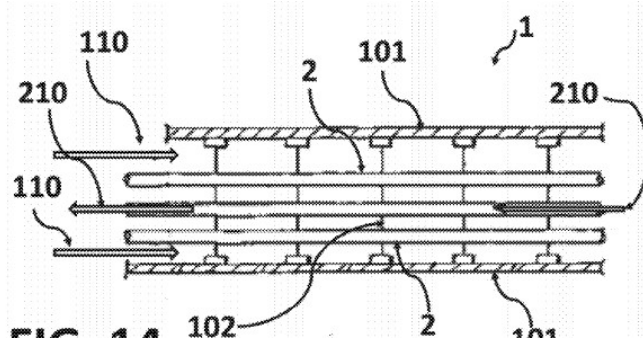
Переваги:

- 1) підвищена теплопередача;
- 2) мала металоємність.

Недоліки:

- 1) високий гідравлічний опір;
- 2) не підходить для забруднених середовищ;
- 3) складність в експлуатації.

У патенті [7] представлено кожухотрубний теплообмінник з повздовжнім потом (рисунок 3.7), який містить захисний кожух, в якому знаходяться оребрені труби, при чому ребра розміщені спірально вздовж труб, та перегородки. Даний вид теплообмінника застосовується для нагрівання або охолодження в хімічній, харчовій та інших промисловостях.



101 – кожух; 102 – перегородки

Рисунок 3.7 – Схематичний вигляд кожухотрубного теплообмінника

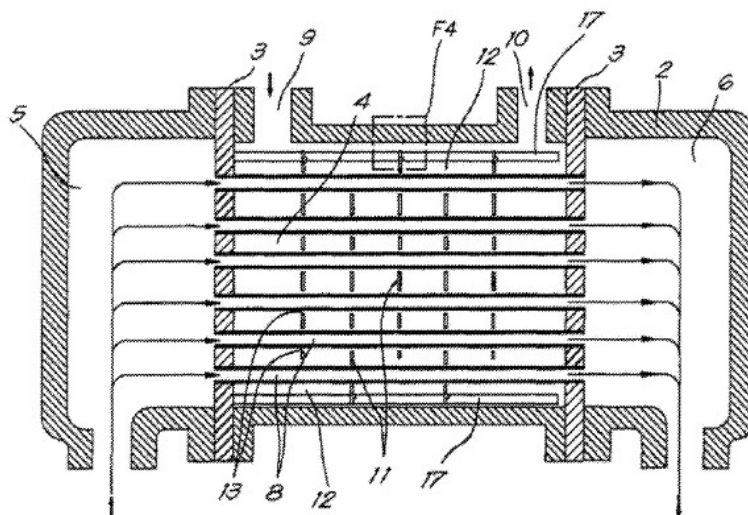
Переваги:

- 1) підвищена продуктивність;
- 2) надійність в експлуатації.

Недоліки:

- 1) важко очищати оребрені труби;
- 2) не підходить для забруднених середовищ.

У патенті [8] представлено кожухотрубний теплообмінник (рисунок 3.8), який призначено для передачі тепла від однієї рідини до іншої. Теплообмінник містить корпус, в якому проходять труби, перегородки та трубну решітку.



2 – корпус; 3 – трубна решітка; 4-6 – відсіки; 8 – труби; 9 – впускний отвір; 10 – вихідний отвір; 11 – перегородки; 12 – реверсивний канал; 13 – проходи; 17 – кріпильні елементи

Рисунок 3.8 – Кожухотрубний теплообмінник

Переваги:

- 1) простота у виготовлені та експлуатації;
- 2) підвищений термін експлуатації.

Недоліки:

- 1) великий гідравлічний опір;
- 2) велика металоємність.

Висновок: проаналізовано і порівняно вибрану конструкції з кращими вітчизняними і світовими аналогами в результаті чого встановлено, що апарат не містить принципових рішень запропонованих в розглянутих патентах.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Охорона праці

Розділ розроблено відповідно до матеріалів викладених в [9].

Закон «Про охорону праці» зобов'язує роботодавця створити такі умови праці на робочих місцях, які відповідають нормативно-правовим актам, а також забезпечують виконання вимог законодавства у галузі охорони праці щодо прав працівників.

Темою дипломного проекту є "Модернізація кожухотрубного теплообмінника установки виробництва етилового спирту".

Обслуговуючим персоналом кожухотрубного теплообмінника є оператор, що знаходиться в операторній. Робоче місце оператора в виділеному приміщенні в цеху, площею  $S=36\text{м}^2$  та об'ємом  $V=108\text{ м}^3$ . Робочі місця організовані з урахуванням ергономіки та зручності праці.

При виготовленні спирту для оператора небезпечними є такі фактори:

- повітря робочої зони;
- електричні небезпеки;
- вибухо-пожежні небезпеки.

У зв'язку із необхідними умовами розробимо міри безпеки для підприємства.

### 4.1 Повітря робочої зони

Допустимі рівні концентрацій та інші параметри небезпечних факторів не перевищують задані в нормах.

Технологічні процеси, які пов'язані з використанням легкозаймистих або токсичних речовин проходять в окремих приміщеннях, з забезпеченням необхідної вентиляції.

Перекачування спирту між резервуарами, або з резервуара до споживача, супроводжується викидом парів з наповнюваного резервуара в атмосферу. Також можливі викиди шкідливих та вибухонебезпечних парів при тепловому розширенні

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

рідини. Для уникання концентрації цих парів у повітрі в небезпечних місцях встановлені витяжні вентиляції, які вловлюють шкідливі випари біля місць їх виділення і запобігають цим перемішування парів з повітрям в робочій зоні. Вентилятор встановлений у вибухобезпечному виконанні. Продуктивність відводу визначається з залежності граничної концентрації речовини в повітрі.

З інструкції ВСН21 швидкість збирання повітря 1,5 м/с, виходячи з умови наявності сумішей з густиною меншою, ніж у повітря.

Продуктивність аварійної системи вентиляції більша, ніж 8-ми кратний повітрообмін аварійної і основної систем вентиляції.

В робочому приміщенні підтримується необхідний мікроклімат, який має задані нормами температуру повітря, швидкість руху повітря, відносну вологість, тиск та інтенсивність випромінювання від нагрітих поверхонь.

Необхідні норми відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 для нормальної роботи в операторній, тобто для категорії легкої роботи:

- температура в перехідний і холодний періоди року – 18-20 °С;
- відносна вологість – 40-60 %;
- швидкість руху повітря – 0,2 м/с.

Параметри підтримуваного мікроклімату:

- в холодну пору року приміщення підігрівають батареями з водяним теплоносієм температурою 50-60 °С;
- в теплу пору року підігрівають витяжною вентиляцією.

Оскільки температура зовнішніх стінок устаткування не перевищує 40 °С, отже теплоізоляція не потрібна.

## 4.2 Електробезпека

Все електричне обладнання виконане згідно з нормативними документами.

На виробництві керівником вибраний працівник, відповідальний за загальний стан всього електрогосподарства, який атестований за необхідним рівнем електробезпеки.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Згідно з ПУЭ-83 операторна є приміщенням підвищеної небезпеки тому, що можливе ураження струму від одночасного дотику до металевого корпусу електроустаткування і технологічних апаратів, з'єднаних під землею.

Електрична мережа з глухо-заземленою нейтраллю:  $U=380/220$  В,  $f=50$  Гц.

Основні причини нещасних випадків, пов'язаних з ураженням електричним струмом:

- контакт або наближення на небезпечну відстань частини тіла з струмоведучими частинами, що перебувають під напругою;
- контакт з металевими елементами конструкції електроустаткування які потрапили до електричного кола у зв'язку з пошкодженням ізоляції струмоведучих частин;
- контакт з землею, якщо на неї замкнуло дріт в результаті розриву.

Для уникнення нещасних випадків використовуємо автоматичне занулення і автоматичним відімкненням апаратів з мережі відповідно до ГОСТ 12.1.030-86. Для уникнення ураження статичною електрикою по периметру приміщення створюємо сітку з металевих пластин  $25 \times 4$  мм, до яких приєднують мідним дротом  $S = 10$  мм<sup>2</sup> металеві частини апаратів які перебувають у приміщенні.

Задля забезпечення безпечної праці з електроустаткуванням кабелі вкладені в труби, які проходять під підлогою, рубильники та перемикачі розташовують у шафу контролю.

Для досягнення необхідних умов праці дотримуємося правил техніки безпеки та забезпечуємо виконання необхідних вимог:

1. Для уникнення небезпеки ураження струму від корпусів апаратів на електроапаратури забезпечуємо надійні металеві зв'язки корпусів електродвигунів, електричних щитів і постів керування та електропроводки із контуром заземлення.

2. Правила безпеки при роботі з електроапаратурою:

- доторкатися до електропроводів, проводити ремонт електроустаткування, замінювати електролампи, запобіжники й інші деталі електроустаткування заборонено персоналу, який не має права допуску до цих робіт;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



- вхід до розподільних щитових, відкривання електрозбірок та входити до місць з табличками «Вхід заборонений», «Небезпечно для життя» і подібних дозволяється лише певним працівникам, які ознайомлені з правилами безпеки та мають допуск до цих місць;
- для переносного освітлення користуватися лампами напругою не більше 12 вольт;
- для проведення ремонтних робіт на лінії двигуни та інші електроприлади знеструмлюються й від'єднуються від проводів живлення, а на кнопках пуску вивішуються таблички «Не вмикати, працюють люди». Відключення електроенергії проводиться електриком. Установлюється суцільна огорожа, кабелі живлення прокладають в броньовану оболонку. Світильники встановлюють в вибухобезпечному виконанні. Прилади та встаткування лише з малою напругою, 42 В;
- проведення систематичних перевірок заземлення устаткування проводиться відповідальним за електрогосподарство лінії електриком.

#### 4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека підприємства повинна відповідати правилам пожежної безпеки в Україні. Відповідальність за пожежну безпеку підприємства покладається на керівника. Відповідальних за пожежну безпеку в окремих цехах або виробничих ділянках вибирає керівник.

На виробництві, що проектується основною речовиною є етанол.

Пари етанолу з повітрям можуть утворювати легкозаймисті та вибухонебезпечні суміші (гримучі суміш) при температурах не вище 55 °С.

При вибуху реакція відбувається надзвичайно швидко в замкнутому просторі, без доступу повітря до осередку запалення гримучої суміші. Швидкість вибухової хвилі коливається в межах 2000-3000 м/сек. Величезна енергія, що розвивається при вибуху, призводить до значних руйнацій.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

У відповідності зі ОНТП 24-86, з врахуванням характеристик речовин з погляду пожежної небезпеки, визначаємо категорію пожежної безпеки виробництва на ділянці. Категорія виробництва А – вибухопожежонебезпечні; до цієї категорії відносяться виробництва, в яких використовуються горючі газы, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 °С в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при займанні яких утворюється розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, перевищуючий 5 кПа. Клас вибухонебезпечної зони – 2.

По СНиП 2.01.02-85 вибираємо II ступінь вогнестійкості будівель підприємства, яка підходить для категорії А пожежної небезпеки. Допустима кількість поверхів будівель – 6, допустимий об'єм поверху між протипожежними стінами будівель для одноповерхових – не обмежується, двох поверхових – 2500 м<sup>3</sup>, трьох поверхових і більше – 3500 м<sup>3</sup>.

На основі вибраної ступені вогнестійкості будівель визначаємо найменшу допустиму границю вогнестійкості основних будівельних конструкцій.

Границя вогнестійкості приміщень – III. Границю вогнестійкості дверей допускається передбачати лише для II ступеня. Відгороджуючі конструкції допоміжних приміщень, які розміщуються безпосередньо в виробничих будівлях, в тому числі на антресолях, повинні бути з границею вогнестійкості I ступеня (СНиП 2.09.02-85). Група займистості матеріалів – негорючі (СНиП 2.01.02-85).

Для боротьби з пожежами застосовують наступні методи:

1. Осередок горіння ізолюють від повітря або подають до нього негорючі газы в такій кількості, щоб відносний склад повітря виявився недостатнім для процесу горіння;
2. Осередок горіння охолоджують до температури, що нижче, ніж температура загорання матеріалів, які знаходяться в небезпечній зоні;
3. Уповільнюють швидкість хімічної реакції в полум'ї;
4. Механічно зривають полум'я впливаючи на нього сильними потоками газу, води або порошку;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

5. Створюють умови, при яких полум'я може розповсюджуватись тільки через вузькі канали, зменшується сила полум'я і площа осередку пожежі.

В залежності від категорії пожежної небезпеки виробництва і ступені вогнестійкості будівель, визначається максимальна допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу. В одноповерхових будівлях – 100 м, в двох поверхових – 75 м, в трьох і більше – 75 м. З коридору повинно бути, як правило не менше 2-ох евакуаційних виходів.

Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної небезпеки виробництва і ступінь вогнестійкості будівлі, визначаємо необхідну ширину евакуаційних виходів. Для проходів - не менше 1 м, коридорів - 1,4 м, двері - 0,8 м і марші – 1,05 м, площадка сходів – 1,05 м. Висота дверей і проходів на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі (СНиП 2.09.02-85).

Для даної ділянки робіт вибираємо тип і кількість первинних засобів пожежогасіння. На 400-500 м<sup>2</sup> необхідно: пінні, хімічні, повітряно-пінні вогнегасники – 4 шт; вуглекисотно-брометилові – 1 шт.; порошковий – 1 шт.

Порошкові вогнегасники призначені для тушіння запалень різних матеріалів і установок під напругою до 1000 В, заряжають складами МГС і ПХ для тушіння металів, складами ПСБ-3, П-1А – для тушіння ЛЗР, ГР, горючих газів.

Вуглекислотні вогнегасники призначені для тушіння запалень різних матеріалів і установок до 1000 В.

Автоматичні установки пінного пожежогасіння. Для створення повітряно-механічної піни і подачі її на підзахисний об'єкт застосовують сплинкерні і дренчерно-пінні зрошувачі.

У відповідності з вище приведеними даними вибираємо необхідний ПУЕ тип виконання електрообладнання для приміщень класів 0, 1, 2, що містять

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

вибухонебезпечні концентрації сумішей газів і парів з повітрям ПА, ПВ, ПС категорій, температурних класів Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6 у відповідності з ГОСТ12.1.011-78.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата

### 5.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата

Мета розрахунку: визначити основні геометричні розміри теплообмінника.

Теплообмінник до параметричного розрахунку наведений на рисунку 5.1.

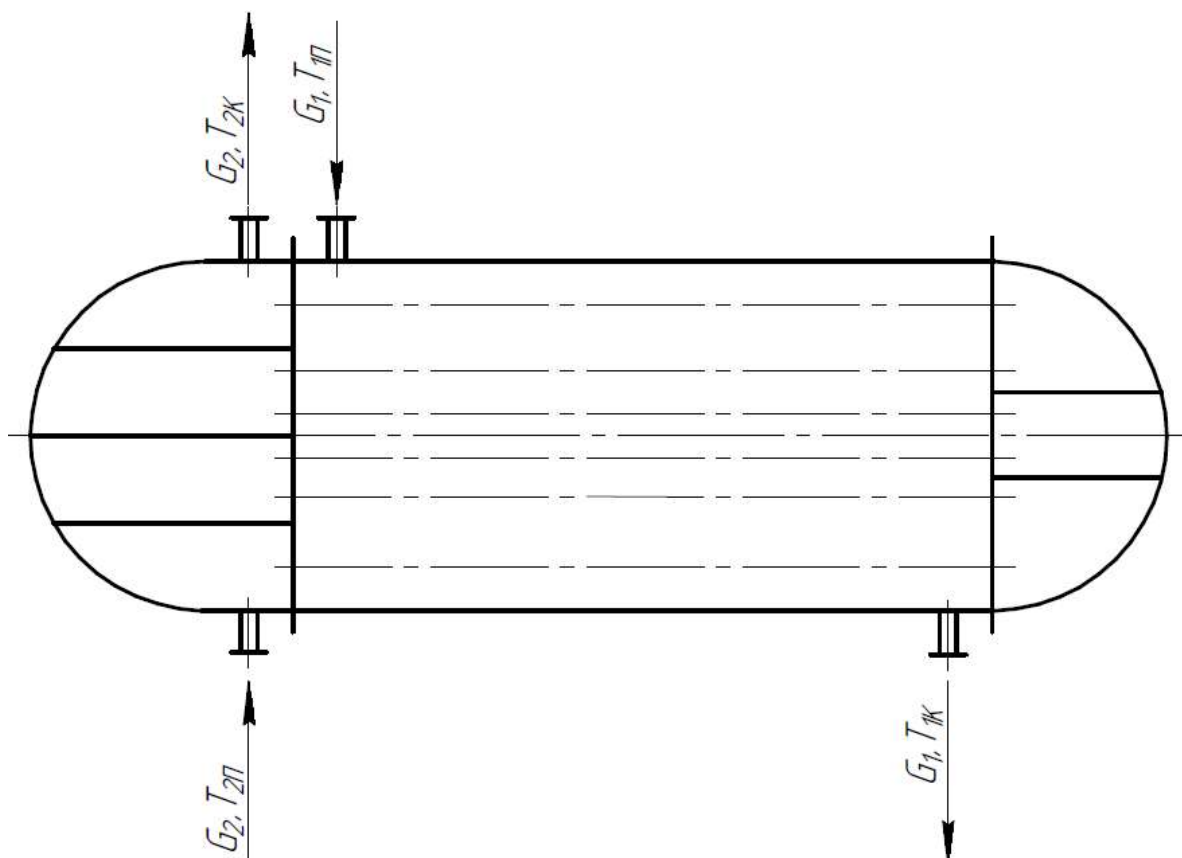


Рисунок 5.1 – Кожухотрубний теплообмінник

Вихідні дані:

Витрати розчину етанолу $G_2$ , кг/с:	1,611;
початкова температура розчину етанолу $T_{2П}$ , К:	293;
кінцева температура розчину етанолу $T_{2К}$ , К	356,75;
початкова температура гріючого пару води $T_{1П}$ , К	385,7;
кінцева температура води $T_{1К}$ , К	385,7;
розрахунковий тиск в міжтрубному просторі $p$ , МПа:	0,16.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [2].

Середня різниця температур теплоносіїв:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{(t_1 - t_{2\text{п}}) - (t_1 - t_{2\text{к}})}{\ln\left(\frac{t_1 - t_{2\text{п}}}{t_1 - t_{2\text{к}}}\right)} = \frac{(112,7 - 20) - (112,7 - 83,75)}{\ln\left(\frac{112,7 - 20}{112,7 - 83,75}\right)} = 54,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура розчину етанолу:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_{\text{сер}} = 112,7 - 54,7 = 58 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Об'ємні витрати розчину етанолу:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{1,611}{931,974} = 1,729 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\rho_2 = 931,974 \text{ кг/м}^3$  – густина розчину етанолу при  $58 \text{ } ^\circ\text{C}$  [10].

Тепловий потік, необхідний для нагрівання розчину етанолу:

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{п}}) = 1,611 \cdot 3,671 \cdot (83,75 - 20) = 377,006 \text{ кВт},$$

де  $c_2 = 3,671 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$  – питома теплоємність розчину етанолу при  $58 \text{ } ^\circ\text{C}$  [10].

Витрати насиченої водяного пару:

$$G_1 = \frac{Q_2}{r_1} = \frac{377,006}{2227} = 0,169 \text{ кг/с},$$

де  $r_1 = 2227 \text{ кДж/кг}$  – питома теплота конденсації водяного пару при  $112,7 \text{ } ^\circ\text{C}$  [2].

Визначається орієнтовне максимальне значення поверхні теплообміну:

$$F_{\text{макс}} = \frac{Q_2}{K_{\text{мін}} \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{377,006 \cdot 10^3}{120 \cdot 54,7} = 57,354 \text{ м}^2,$$

де  $K_{\text{мін}} = 120 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  – мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі для випадку теплопередачі від водяного пару, яка конденсується до органічних рідин.

Приймаємо  $Re = 10000$ .

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для забезпечення такого числа Рейнольдса швидкість розчину етанолу в трубах повинна бути не менша, ніж:

$$\omega_2^I = \frac{Re \cdot \mu_2}{d_2 \cdot \rho_2} = \frac{10^4 \cdot 9,29 \cdot 10^{-4}}{0,021 \cdot 931,974} = 0,475 \text{ м / с},$$

де  $\mu_2 = 9,29 \cdot 10^{-4}$  Па · с – динамічна в'язкість розчину етанолу при 58 °С [10].

Для забезпечення такого числа Рейнольдса при заданих витратах розчину етанолу число паралельних труб діаметром 25\*2 мм :

$$n^I = \frac{V_2}{\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot \omega_2^I} = \frac{1,729 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 0,475} = 10,52 \text{ шт.}$$

Для подальшого розрахунку вибираємо шестиходовий теплообмінник з кількістю труб  $n = 60$  шт.

Число Рейнольдса для вибраного апарата:

$$Re_2 = Re \cdot \frac{n^I}{n} = 10000 \cdot \frac{10,52}{10} = 10140,$$

де  $n = 60 / 6 = 10$  шт. – число труб на один хід.

В якості першого наближення приймаємо значення температури зовнішньої поверхні труб зі сторони пару  $t_{\text{ст1}}^I = 110$  °С .

Коефіцієнт тепловіддачі від пару, що конденсується до зовнішньої поверхні горизонтальних труб:

$$\alpha_1^I = \frac{1,28 \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon \cdot A_t}{(d \cdot \Delta t)^{1/4}} = \frac{1,28 \cdot 0,6 \cdot 0,65 \cdot 7,14 \cdot 10^3}{(0,025 \cdot 2,7)^{1/4}} = 6,993 \cdot 10^3 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)},$$

де  $\varepsilon_r = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує наявність 0,5 % кисню у парі;  
 $\varepsilon = 0,65$  – коефіцієнт, що враховує кількість труб по вертикалі;  
 $A_t = 7,14 \cdot 10^3$  – коефіцієнт, що враховує властивості конденсату при 112,7 °С;  
 $\Delta t = t_1 - t_{\text{ст1}}^I = 112,7 - 110 = 2,7$  °С ;  $d = 0,025$  м – зовнішній діаметр труб.

Густина теплового потоку від пару до зовнішньої поверхні труб:

$$q_1^I = \alpha_1^I \cdot \Delta t = 6,993 \cdot 10^3 \cdot 2,7 = 1,888 \cdot 10^4 \text{ Вт / м}^2.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Вибираємо теплопровідності забруднень зі сторони  
 гріючого пару  $1/r_1 = 1/5800 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  і зі сторони розчину  
 етанолу  $1/r_2 = 1/5800 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  [2].

Температура стінки зі сторони розчину етанолу:

$$t'_{\text{ст}2} = t'_{\text{ст}1} - q'_1 \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{\delta}{\lambda} \right) = 110 - 1,888 \cdot 10^4 \cdot \left( \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} \right) = 101,3 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\delta = 0,002 \text{ м}$  – товщина стінки труби;  $\lambda = 17,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  –  
 теплопровідність сталі 12Х18Н10Т [2].

Критерій Нуссельта для розчину етанолу:

$$Nu_2 = d_2 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_2^{0,42} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{\text{ст}2}} \right)^{0,25} = 0,021 \cdot 10140^{0,8} \cdot 0,85^{0,42} \cdot \left( \frac{0,85}{0,8} \right)^{0,25} = 31,92,$$

де  $Pr_2 = 0,85$  – критерій Прандтля для розчину етанолу при  $58 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $Pr_{\text{ст}2} = 0,8$   
 – те саме при  $101,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні труб до розчину етанолу:

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_2} = 31,92 \cdot \frac{0,417}{0,021} = 634,641 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

де  $\lambda_2 = 0,417 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  – теплопровідність розчину етанолу при  $58 \text{ } ^\circ\text{C}$  [10].

Густина теплового потоку від внутрішньої поверхні труб до розчину  
 етанолу:

$$q'_2 = \alpha_2 \cdot (t'_{\text{ст}2} - t_2) = 634,641 \cdot (101,3 - 58) = 2,75 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

В якості другого наближення приймаємо значення температури зовнішньої  
 поверхні труб зі сторони пару  $t'_{\text{ст}1} = 108,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від пару, що конденсується до зовнішньої поверхні  
 горизонтальних труб:

$$\alpha''_1 = \frac{1,28 \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon \cdot A_t}{(d \cdot \Delta t)^{1/4}} = \frac{1,28 \cdot 0,6 \cdot 0,65 \cdot 7,14 \cdot 10^3}{(0,025 \cdot 4)^{1/4}} = 6,338 \cdot 10^3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

де  $\Delta t = t_1 - t'_{\text{ст}1} = 112,7 - 108,7 = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Густина теплового потоку від пару до зовнішньої поверхні труб:

$$q_1'' = \alpha_1'' \Delta t = 6,338 \cdot 10^3 \cdot 4 = 2,535 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура стінки зі сторони розчину етанолу:

$$t_{\text{ст}2}'' = t_{\text{ст}1}'' - q_1'' \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{\delta}{\lambda} \right) = 108,7 - 2,535 \cdot 10^4 \cdot \left( \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} \right) = 97 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Густина теплового потоку від внутрішньої поверхні труб до розчину етанолу:

$$q_2'' = \alpha_2 (t_{\text{ст}2}'' - t_2) = 634,641 \cdot (97 - 58) = 2,479 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

Розбіжність в значеннях  $q_2''$  та  $q_1''$  не перевищує 3 %.

Необхідна поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q}{\left( \frac{q_1'' + q_2''}{2} \right)} = \frac{377,006 \cdot 10^3}{\left( \frac{2,535 \cdot 10^4 + 2,479 \cdot 10^4}{2} \right)} = 14,42 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1''} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6,338 \cdot 10^3} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{634,641}} = 456,084 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Перевірка значення густини теплового потоку від пару до розчину етанолу:

$$q = K \cdot \Delta t_{\text{ср}} = 456,084 \cdot 54,7 = 2,498 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2.$$

Отримана поверхня теплообміну:

$$F = \pi \cdot d_2 \cdot L \cdot n = 3,14 \cdot 0,021 \cdot 4 \cdot 60 = 15,82 \text{ м}^2.$$

Запас теплообмінної поверхні:

$$\frac{15,82 - 14,42}{14,42} \cdot 100 = 9,7 \text{ } \%.$$

Висновок: приймаємо шестиходовий теплообмінник з нерухомими трубними решітками з такими параметрами:

Площа поверхні теплообміну  $F$ , м<sup>2</sup>: 15,82;

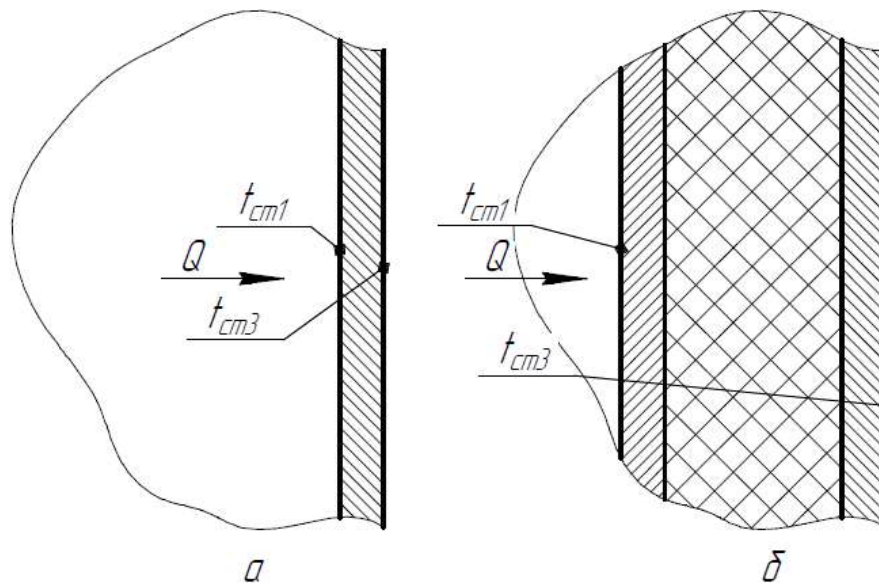
					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Діаметр труби $d$ , м :	0,025;
Довжина труб $l$ , м :	4;
Кількість труб, шт.:	60.

## 5.2 Перевірка теплоізоляції апарата

Мета розрахунку: перевірка температури зовнішньої стінки апарата без теплоізоляційного шару, та з ним та порівняти результати.

Схеми до перевірконого розрахунку наведені на рисунку 5.2.



а – стандартна схема; б – схема розробленої конструкції

Рисунок 5.2 – Схема зовнішньої стінки апарата

Вихідні дані:

Тепловий потік апарата $Q$ , кВт:	377;
Внутрішня температура теплоносія $t_1$ , °C :	112,7;
Товщина зовнішньої стінки $\delta_3$ , м:	0,005;
Найменша товщина шару теплоізоляції $\delta_2$ , м:	0,020;
Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції $\lambda_2$ , Вт/(м·К):	0,037;
Товщина внутрішньої стінки $\delta_1$ , м:	0,0005.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [2].

Коефіцієнт теплопередачі для розробленої конструкції:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6,338 \cdot 10^3} + \frac{1}{5800} + \frac{0,005}{17,5} + \frac{0,020}{0,037} + \frac{0,0005}{17,5} + \frac{1}{16}} = 1,65 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Густина теплового потоку від пару до повітря:

$$q = K \cdot (t_1 - t_2) = 1,65 \cdot (112,7 - 20) = 153 \text{ Вт/м}^2.$$

Коефіцієнт теплопередачі для стандартної схеми:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{r_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{6,338 \cdot 10^3} + \frac{1}{5800} + \frac{0,005}{17,5} + \frac{1}{16}} = 15,84 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

де  $\alpha_2 = 16 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні до повітря.

Температура повітря навколо стандартного апарата:

$$t'_2 = t_1 - \frac{q}{K_1} = 112,7 - \frac{153}{15,84} = 103 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Зовнішня температура стінки апарата розробленої конструкції:

$$t_{\text{ст3}} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 20 + \frac{153}{16} = 29,56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Зовнішня температура стінки стандартного апарата:

$$t_{\text{ст3}} = t'_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 103 + \frac{300,2}{16} = 112,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Висновок: отже розроблена конструкція теплообмінного апарата при температурі повітря  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  та мінімальній товщині шару базальтової вати в  $20 \text{ мм}$  досягає зовнішньої температури стінки в  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , в той час, коли стандартна конструкція апарата досягає температури зовнішньої стінки в  $112,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , що показує неможливість запобігання втратам теплоти.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

### 5.3 Конструктивний розрахунок

Мета розрахунку: визначення параметрів розміщення труб в трубній решітці.

Розрахункова схема до конструктивного розрахунку наведена на рисунку 5.3.

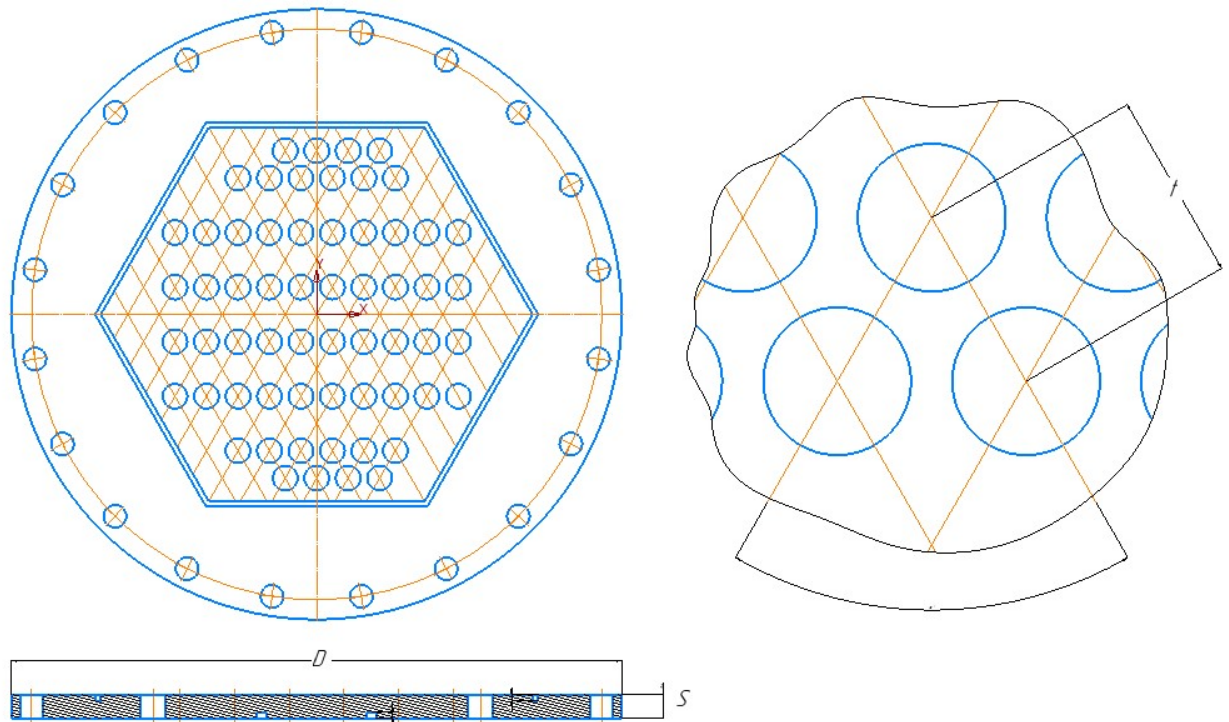


Рисунок 5.3 – Схема до розрахунку конструкції трубної решітки

Вихідні дані:

Діаметр труби  $d$ , м: 0,025;

Кількість труб, шт.: 60.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [10].

Для розміщення пучка труб по вершинам шестикутників, зв'язок між загальною кількістю труб  $n$ , кількістю труб на діагоналі  $b$  і на стороні  $a$  найбільшого шестикутника виражається наступним співвідношенням:

$$n = 3 \cdot a \cdot (a - 1) + 1,$$

$$a = 6,$$

$$b = 2 \cdot a - 1 = 2 \cdot 6 - 1 = 11$$

Крок:

$$t = 1,2 \cdot d_3 = 1,2 \cdot 0,025 = 0,032 \text{ м.}$$

Висновок: на основі проведених розрахунків приймаємо кількість труб на головній діагоналі 11 шт., на стороні шестикутника 6 шт., крок – 32 мм. Труби розташовуються в шести секторах так, щоб в кожному секторі знаходилося по 10 труб.

#### 5.4 Визначення діаметрів штуцерів

Мета розрахунку: визначення діаметрів штуцерів для вводу і виводу розчину етанолу та водяного пару.

Вихідні дані:

Масова витрата для водяного пару  $G_1$ , кг/с: 0,169;

Масова витрата розчину етанолу  $G_2$ , кг/с: 1,611;

Густина водяного пару  $\rho_{1п}$ , кг/м<sup>3</sup>: 0,86;

Густина води  $\rho_{1к}$ , кг/м<sup>3</sup>: 950,7;

Густина розчину етанолу  $\rho_2$ , кг/м<sup>3</sup>: 931,974;

Розрахункова температура  $t_R$ , К: 385.

Схема штуцера представлена на рисунку 5.4.

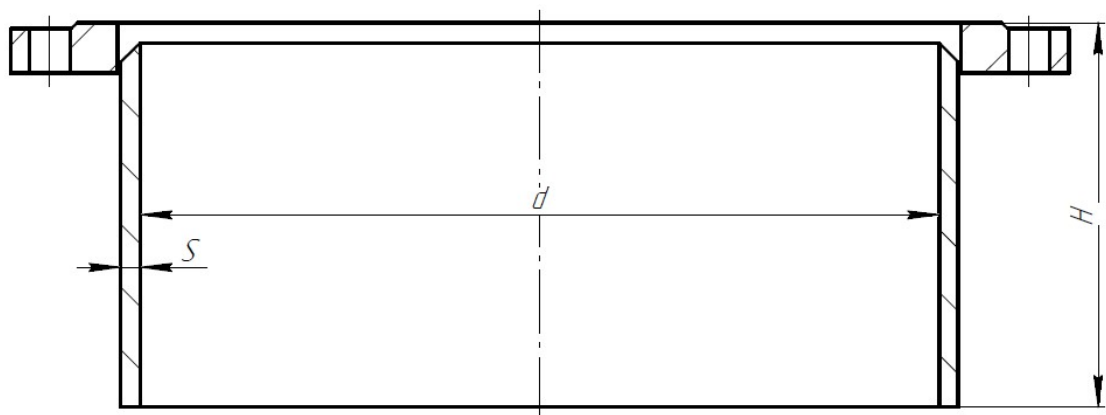


Рисунок 5.4 – Схема штуцера

Розрахунок ведеться за методикою, наведеною в [10].

Діаметр штуцера для входу водяного пару:

$$d_{\text{шлп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{\text{лп}} \cdot \omega_{\text{лп}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,169}{3,14 \cdot 0,86 \cdot 30}} = 0,091 \text{ м},$$

де  $\omega_{\text{лп}} = 30 \text{ м/с}$  – рекомендована швидкість руху водяного пару в трубопроводі.

Діаметр штуцера для виходу води:

$$d_{\text{шлк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{\text{лк}} \cdot \omega_{\text{лк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,169}{3,14 \cdot 950,7 \cdot 1}} = 0,015 \text{ м},$$

де  $\omega_{\text{лк}} = 1 \text{ м/с}$  – рекомендована швидкість руху води в трубопроводі.

Діаметр штуцерів для входу та виходу розчину етанолу:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_2 \cdot \omega_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,611}{3,14 \cdot 931,974 \cdot 1}} = 0,046 \text{ м},$$

де  $\omega_2 = 1 \text{ м/с}$  – рекомендована швидкість руху розчину етанолу в трубопроводі.

За АТК 24.218.06-90 вибираємо штуцер для входу водяного пару:

умовний діаметр  $D_y$ , м: 0,1;

зовнішній діаметр патрубку  $d_T$ , м: 0,108;

товщина стінки патрубку  $S_T$ , м: 0,006;

висота штуцера  $H_T$ , м: 0,185.

За АТК 24.218.06-90 вибираємо штуцер для виходу води:

умовний діаметр  $D_y$ , м: 0,025;

зовнішній діаметр патрубку  $d_T$ , м: 0,018;

товщина стінки патрубку  $S_T$ , м: 0,0035;

висота штуцера  $H_T$ , м: 0,155.

За АТК 24.218.06-90 вибираємо штуцер для входу та виходу розчину етанолу:

умовний діаметр  $D_y$ , м: 0,050;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

зовнішній діаметр патрубку $d_T$ , м :	0,057;
товщина стінки патрубку $S_T$ , м :	0,004;
висота штуцера $H_T$ , м :	0,165.

## 5.5 Гідравлічний розрахунок

Мета розрахунку: визначення повного гідравлічного опору; потужності, необхідної для перекачування розчину і відповідно вибір насоса при відомому коефіцієнту корисної дії.

Схема до розрахунку показана на рисунку 5.5.

Розрахунок здійснюємо за методикою [11].

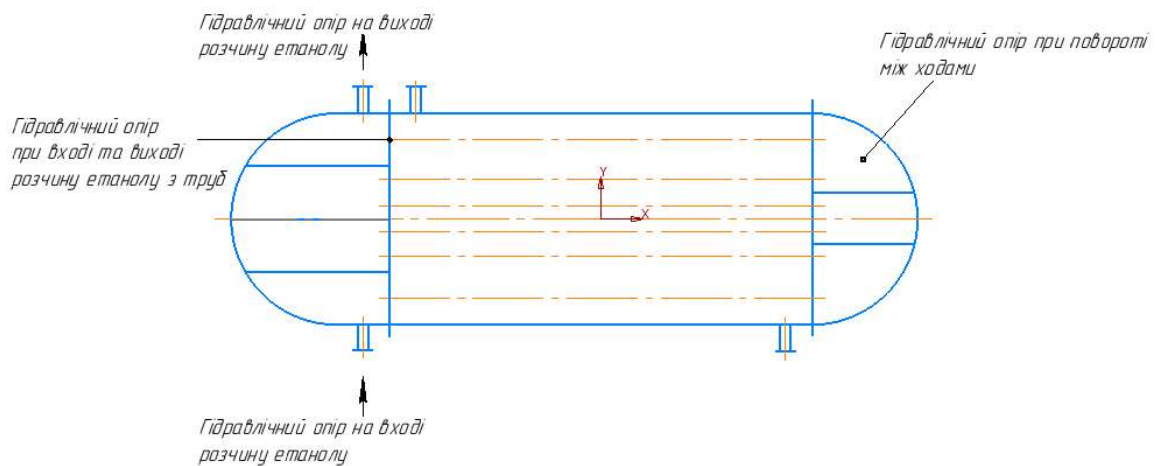


Рисунок.5.5 – Схема гідравлічного розрахунку

Вихідні дані:

критерій Рейнольдса для розчину етанолу, $Re$ :	10140;
критерій Прандтля для розчину етанолу, $Pr$ :	0,85;
об'ємні секундні витрати $V$ , $\text{м}^3/\text{с}$ :	0,001729;
внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}$ , м:	0,021;
довжина труб $L$ , м:	4;
Відносна шорсткість труб:	

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де  $\Delta = 0,2$  – висота виступів шорсткостей [11].

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

При значенні  $Re > 2300$  коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda_1 = 0,25 \cdot \left( \lg \left( \frac{e}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re_1} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,25 \cdot \left( \lg \left( \frac{0,0095}{3,7} + \left( \frac{6,81}{10140} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,043.$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{тр}} &= \left[ \lambda_1 \cdot \frac{L \cdot z}{d_1} + 2 \cdot z \cdot \varepsilon_3 + (z-1) \cdot \varepsilon_1 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{\rho_{\text{шт}} \cdot \omega_{2\text{шт}}^2}{2} = \\ &= \left[ 0,043 \cdot \frac{4 \cdot 6}{0,021} + 2 \cdot 4 \cdot 1 + (4-1) \cdot 2,5 \right] \cdot \frac{931,974 \cdot 0,475^2}{2} + 2 \cdot 1,5 \cdot \frac{931,974 \cdot 0,97^2}{2} = \\ &= 8111 \text{ Па}, \end{aligned}$$

де  $z = 4$  – кількість ходів по трубах;  $\varepsilon_1 = 2,5$  – місцеві витрати при повороті між ходами;  $\varepsilon_2 = 1,5$  – місцеві витрати при вході та виході розчину етанолу;  $\varepsilon_3 = 1$  – місцеві витрати при вході та виходу розчину етанолу з труб.

Витрати потужності:

$$N = \frac{\Delta P_{\text{тр}} \cdot G_2}{\rho_2} = \frac{8111 \cdot 1,611}{931,974} = 14,02 \text{ Вт.}$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного простору кожухотрубного теплообмінника  $\Delta P_{\text{тр}} = 8111$  Па. Витрати потужності  $N = 14,02$  Вт.

## 5.6 Проектний розрахунок товщини стінки шестигранної призми корпусу апарата під дією внутрішнього тиску

Мета розрахунку: перевірка товщини стінки внутрішньої обичайки, яка працює під внутрішнім надлишковим тиском.

Схема стінки внутрішньої обичайки представлена на рисунку 5.6.

Вихідні дані для розрахунку:

розрахункова температура  $t_R$ , К: 385;

розрахунковий тиск  $P_R$ , МПа: 0,16;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



матеріал:

Сталь 12Х18Н10Т;

менша сторона прямокутної плоскої стінки, м:

0,224;

допустиме напруження матеріалу  $[\sigma]$ , МПа :

152.

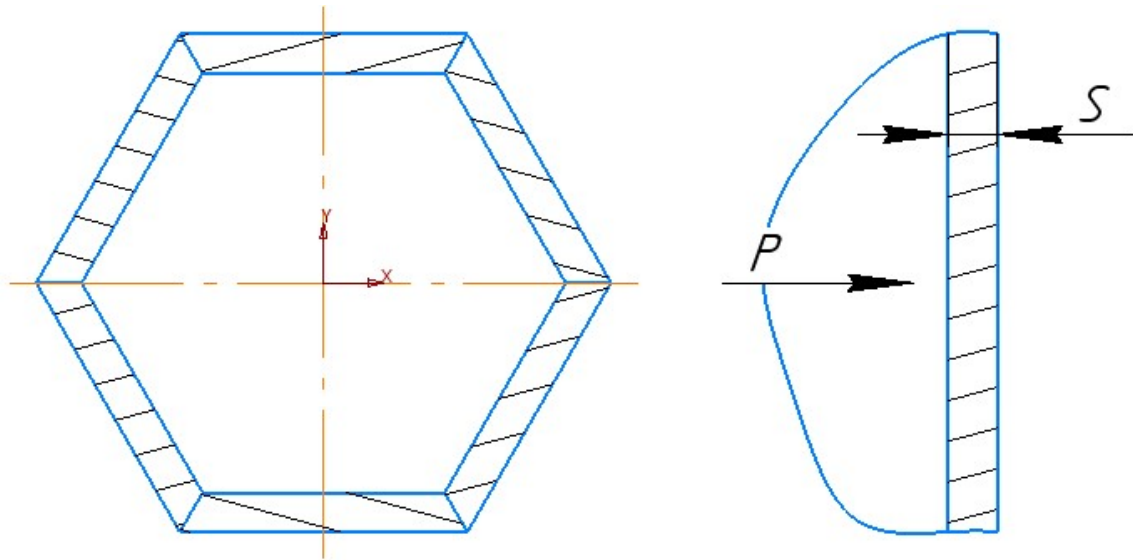


Рисунок 5.6 – Схема стінки внутрішньої обичайки

Розрахунок здійснюю за методикою, викладеною в [3].

Розрахункову товщину стінки внутрішньої обичайки:

$$S_R = K \cdot b \cdot \sqrt{\frac{P_R}{[\sigma] \cdot \varphi}} = 0,5 \cdot 0,224 \cdot \sqrt{\frac{0,16}{152 \cdot 0,9}} = 0,004 \text{ м},$$

де  $\varphi=0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва. Шов стиковий, що виконується автоматичним і напівавтоматичним зварюванням з одного боку;  
 $b=0,224$  м – менша сторона прямокутної плоскої стінки;  $P_R=0,16$  МПа – тиск який діє на стінку;  $K=f\left(\frac{l}{b}\right)=0,5$  – коефіцієнт який залежить від способу закріплення, його значення вибирають по графіку який зображено на рисунку 5.7.

Виконавча товщина стінки внутрішньої обичайки:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,004 + 0,001 = 0,005 \text{ м},$$

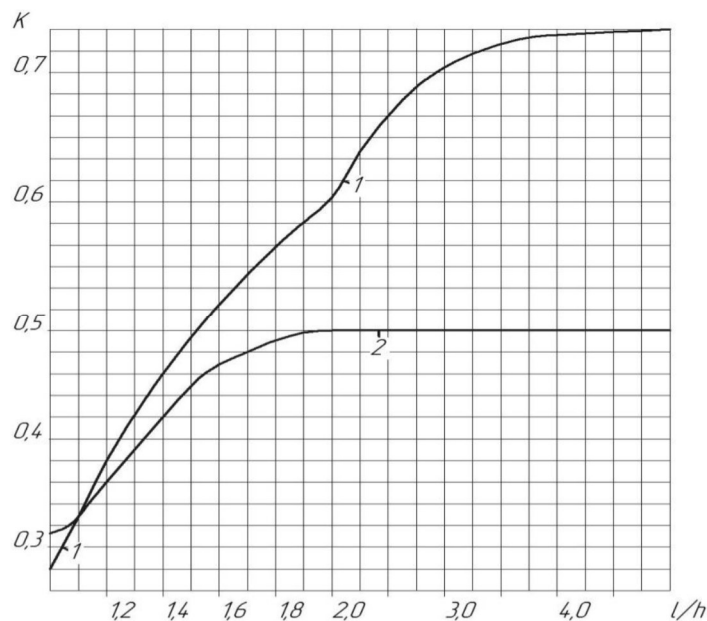
де  $C_1$  – додаток на компенсацію корозії:

$$C_1 = v \cdot \tau = 0,0001 \cdot 10 = 0,001 \text{ м},$$

де  $v = 0,0001$  м/рік – швидкість корозії;  $\tau = 10$  років – строк служби апарата;

$C_2 = 0$  м – додаток на компенсацію мінусового допуску до товщини листа;

$C_3$  – технологічний додаток, який визначається заводом і пов'язаний зі зміною листа при формуванні деталі. Додаток  $C_3$  не враховується, бо його сумарна величина не перевищує 10% від номінальної товщини листа.



1– для прямокутної плоскої стінки, шарнірно опертої по периметру.

2– для прямокутної плоскої стінки, жорстко закріпленої по периметру

Рисунок 5.7 – Графік для визначення коефіцієнта К

Приймаємо найближчий стандартний лист товщиною  $S = 0,005$  м.

Допустимий тиск (за ГОСТ 14249-89):

$$[P] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \left( \frac{S - C}{D \cdot b} \right)^2 = 152 \cdot 0,9 \cdot \left( \frac{0,005 - 0,001}{0,5 \cdot 0,224} \right)^2 = 0,174 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P = 0,16 \leq [P] = 0,174 \text{ МПа}.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Висновок: Значення робочого тиску  $P=0,16$  МПа не перевищує значення допустимого тиску  $[P]=0,174$  МПа. Отже умова міцності виконується, визначена товщина стінки корпусу  $S=0,005$  м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

### 5.7 Розрахунок товщини днища під дією внутрішнього тиску

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умови міцності.

Схема до розрахунку днища приведена на рисунку 5.8.

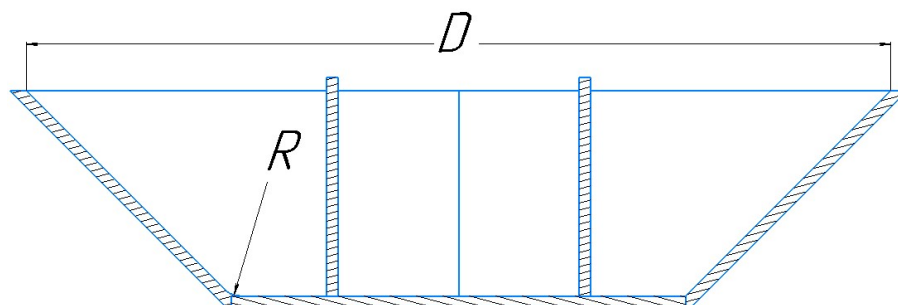


Рисунок 5.8 – Схема до розрахунку днища

Вихідні дані для розрахунку:

розрахунковий тиск $P$ , МПа:	0,1;
еквівалентний діаметр апарата $D_v$ , м:	0,4;
матеріал:	Сталь 12Х18Н10Т;
допустиме напруження матеріалу $[\sigma]$ , МПа:	152.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [3].

Розрахункова товщина за внутрішнього надлишкового тиску:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_w - 0,5 \cdot P} = \frac{0,4 \cdot 0,1}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,1} = 0,00018 \text{ м}, \quad (5.1)$$

де  $\varphi = 0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва.

Так як мінімальна розрахункова товщина із конструктивних вимог не може бути менша ніж товщина обичайки (ГОСТ 14249-89), приймаємо  $S_R = 0,004$  м.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Виконавча товщина із урахування додатків:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,004 + 0,001 + 0 + 0 = 0,005 \text{ м.} \quad (5.2)$$

Еквівалентна висота днища:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 0,4 = 0,1 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Еквівалентний радіус днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{0,4^2}{4 \cdot 0,1} = 0,4 \text{ м.} \quad (5.4)$$

Перевірка на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S - C) \cdot [\sigma] \cdot \varphi}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot (0,005 - 0,001) \cdot 152 \cdot 0,9}{0,4 + 0,5 \cdot (0,005 - 0,001)} = 2,18 \text{ МПа,} \quad (5.5)$$

$$P = 0,1 \leq [P] = 2,18 \text{ МПа.} \quad (5.6)$$

Таблиця ідентифікаторів, блок-схема та результати розрахунку знаходяться в додатку Б.

Висновок: значення робочого тиску  $P = 0,1$  МПа не перевищує значення допустимого тиску  $[P] = 2,18$  МПа. Отже умова міцності виконується, визначена товщина стінки еліптичного днища  $S = 0,005$  м забезпечує міцність апарата в умовах робочих навантажень.

## 5.8 Розрахунок товщини трубної решітки

Мета розрахунку: за даними геометричними розмірами корпусу і трубок жорстко з'єднаних з трубною решіткою перевірити їх на міцність та стійкість, а також розрахувати товщину трубної плити. Схема трубної решітки вказана на рисунку 5.3.

Вихідні дані для розрахунку:

труби, мм:	25 x 2;
кількість трубок $n$ шт.:	60;
крок трубок, мм:	32;
діаметр апарата $D$ , м:	0,5;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

довжина труб  $L$ , м: 4;

допустиме напруження матеріалу  $[\sigma]$ , МПа: 152.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [3].

Номінальна розрахункова висота фланцевої частини трубної решітки:

$$H_1 = K_1 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}} = 0,28 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{152}} = 0,0036 \text{ м},$$

де  $p = 0,1$  МПа – тиск в трубах.

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi = \frac{D - \sum d}{D} = \frac{0,5 - 10 \cdot 0,025}{0,5} = 0,5.$$

Номінальна розрахункова висота трубної плити трубної решітки:

$$H_2 = K_2 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} = 0,47 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{152 \cdot 0,5}} = 0,008 \text{ м}.$$

Висновок: приймаємо трубну решітку з такими конструктивними розмірами:

висота фланцевої частини  $H_1$ , м: 0,0042;

висота трубної плити  $H_2$ , м: 0,024;

зовнішній діаметр  $D_3$ , м: 0,620.

## 5.9 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку – зробити перевірочний розрахунок вибраних фланців на міцність, визначити навантаження на кріпильні деталі, визначити діаметр та товщину фланця, кількість та діаметр болтів.

Схема фланцевого з'єднання представлена на рисунку 5.9.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

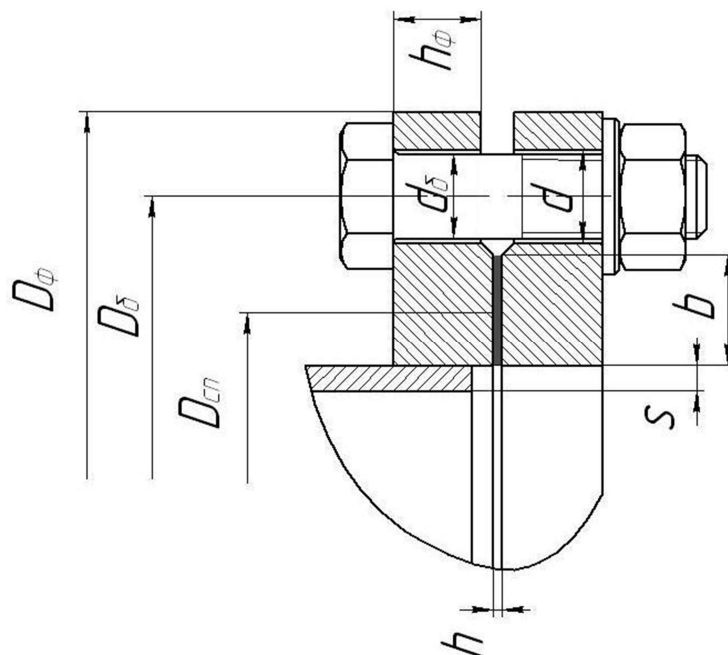


Рисунок 5.9 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

розрахунковий внутрішній тиск $p$ , МПа:	0,16;
температура середовища в апараті $t$ , °C:	112;
внутрішній діаметр фланця $D_b$ , м:	0,500;
зовнішній діаметр фланця $D_\phi$ , м:	0,640;
діаметр болтового кола $D_\delta$ , м:	0,600;
кількість болтів $z_\delta$ шт.:	20;
різьба болтів:	M22;
висота першого фланця $h_{\phi 1}$ , м:	0,024;
висота другого фланця $h_{\phi 2}$ , м:	0,024;
товщина стінки апарату $S$ , м:	0,005;
матеріал болтів:	Сталь 35;
матеріал фланців:	12X18H10T;
зовнішній діаметр прокладки $D_\pi$ , м:	0,550;
ширина прокладки $b$ , м:	0,015;
товщина прокладки $S_{пр}$ , м:	0,002;

матеріал прокладки:	пароніт;
коефіцієнт $m$ :	2,5;
мінімальне питоме навантаження $q$ , МПа:	20;
максимальне питоме навантаження $[q]$ , МПа:	130.

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [12], який передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Згідно з [12 табл. 2] для заданих умов підходить плоский приварний фланець з плоскою ущільнювальною поверхнею за ГОСТ 12820-80.

Визначення розрахункової температури болтів фланцевого з'єднання:

$$t_b = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 112 = 106,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення розрахункової температури фланців:

$$t_\phi = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 59 = 107,52 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Визначення допустимих напружень матеріалу фланців та болтів при температурі монтажу та розрахунковій температурі:

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [12]

$$\text{при } 20^\circ\text{C} = (293 \text{ K}) \left[ \sigma_\phi \right]^{20}, \text{ МПа:} \quad 520;$$

допустиме напруження матеріалу першого фланця за [12]

$$\text{при } 107,52^\circ\text{C} = (380,52 \text{ K}) \left[ \sigma_\phi \right]^t, \text{ МПа:} \quad 420;$$

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [12]

$$\text{при } 20^\circ\text{C} = (293 \text{ K}) \left[ \sigma_\phi \right]^{20}, \text{ МПа:} \quad 520;$$

допустиме напруження матеріалу другого фланця за [12]

$$\text{при } 107,52^\circ\text{C} = (380,52 \text{ K}) \left[ \sigma_\phi \right]^t, \text{ МПа:} \quad 420;$$

допустиме напруження матеріалу болтів за [12]

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

при  $20^{\circ}\text{C} = (293\text{ K}) [\sigma_{\text{Б}}]^{20}$ , МПа: 540;

допустиме напруження матеріалу болтів за [12]

при  $106,4^{\circ}\text{C} = (379,4\text{ K}) [\sigma_{\text{Б}}]^t$ , МПа: 460;

Визначення модуля пружності матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

модуль пружності матеріалу болтів за [12]

при  $106,4^{\circ}\text{C} (379,4\text{ K}) E_{\text{б}}$ , МПа:  $1,95 \cdot 10^5$ ;

модуль пружності матеріалу першого фланця за [12]

при  $107,52^{\circ}\text{C} = (380,52\text{ K}) E_{\text{ф1}}$ , МПа:  $2 \cdot 10^5$ ;

модуль пружності матеріалу другого фланця за [12]

при  $107,52^{\circ}\text{C} = (380,52\text{ K}) E_{\text{ф2}}$ , МПа:  $2 \cdot 10^5$ ;

Визначення коефіцієнтів відносного лінійного розширення матеріалу фланців та болтів при розрахункових температурах:

коефіцієнт відносного лінійного розширення болтів за

таблицею 4 [12]  $\alpha_{\text{Б}}^t, K^{-1}$ :  $1,22 \cdot 10^{-5}$ ;

коефіцієнт відносного лінійного розширення першого фланця за

таблицею 4 [12]  $\alpha_{\text{ф1}}^t, K^{-1}$ :  $1,7 \cdot 10^{-5}$ ;

коефіцієнт відносного лінійного розширення другого фланця за

таблицею 4 [12]  $\alpha_{\text{ф2}}^t, K^{-1}$ :  $1,7 \cdot 10^{-5}$ ;

Попередній розрахунок геометричних параметрів фланців:

За ГОСТ 12820-80 вибираємо болти М22, тобто  $d_{\text{б}} = 0,022\text{ м}$ .

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 0,550 - 0,015 = 0,535\text{ м}.$$

Приймаємо прокладку круглого перерізу з пароніту для тиску меншого за 2,5 МПа і температури не більше за  $500^{\circ}\text{C} (773\text{ K})$ .

Ефективна ширина прокладки при  $b = 0,015 \geq 0,015$ :

$$b_{\text{е}} = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,015 = 0,0075\text{ м}.$$

Приймаємо за ГОСТ 12820-80  $Z_{\text{Б}} = 20$  шт.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



Розрахунок допоміжних величин.

Конструктивний коефіцієнт для фланців за формулою:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{0,64}{0,5} = 1,28,$$

де  $D$  – внутрішній діаметр фланця,  $D=0,500$  м.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{0,024}{\sqrt{0,500 \cdot 0,005}} = 0,48,$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S}} = \frac{0,024}{\sqrt{0,500 \cdot 0,005}} = 0,48$$

Поправочні коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 1,28 = 0,137,$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,28 + 1}{1,28 - 1} = 8,14.$$

Поправочний коефіцієнт для перерізу  $S$  для плоских приварних фланців:

$$\psi_{3\phi} = 1.$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_1} = \frac{0,024}{0,005} = 4,8,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_2} = \frac{0,024}{0,005} = 4,8.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,28^2 \cdot (1 + 8,55 \lg 1,28) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,28^2) \cdot (1,28 - 1)} = 1,813,$$

$$\omega_{\phi 1} = (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2))^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,48 (1 + 0,137 \cdot 4,8^2))^{-1} = 0,357,$$

$$\omega_{\phi 2} = (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2))^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,48 (1 + 0,137 \cdot 4,8^2))^{-1} = 0,357.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{\left(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})\right) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,357 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,48)) \cdot 8,14}{0,024^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,439 \text{ 1/(МН} \cdot \text{м)},$$
$$y_{\phi 2} = \frac{\left(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})\right) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,357 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,48)) \cdot 8,14}{0,024^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1,439 \text{ 1/(МН} \cdot \text{м)}.$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання:

$$L_{\text{Б}} = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + s_{\text{пр}} + 0,28d_{\text{Б}} = 0,024 + 0,024 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,022 = 0,056 \text{ м}.$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки:

$$y_{\text{п}} = \frac{s_{\text{пр}}}{\pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b \cdot E_{\text{п}}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,535 \cdot 0,015 \cdot 200} = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ м/МН}.$$

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,020376^2 = 3,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

де  $d_0 = 0,020376$  м – внутрішній діаметр різьби болта.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,056}{1,95 \cdot 10^5 \cdot 3,25 \cdot 10^{-5} \cdot 20} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}.$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = \left( y_{\text{п}} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2 \right)^{-1} =$$
$$= \left( 3,9 \cdot 10^{-4} + 4,4 \cdot 10^{-5} + 0,25(1,439 + 1,439)(0,6 - 0,535)^2 \right)^{-1} = 287,86.$$

Параметри жорсткості фланців:

$$B_{\phi 1} = y_{\phi 1} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_1) = 1,439 \cdot (0,6 - 0,5 - 0,005) = 0,137 \text{ 1/МН},$$

$$B_{\phi 2} = y_{\phi 2} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_2) = 1,439 \cdot (0,6 - 0,5 - 0,005) = 0,137 \text{ 1/МН}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_{\text{Б}} = 287,86 \cdot 4,4 \cdot 10^{-5} = 0,012.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\phi} = A_{\phi} \cdot \left( y_{\text{Б}} + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_{\text{Б}} - D_{\text{сн}}) \right) = 287,86 \cdot (4,4 \cdot 10^{-3} + 0,25(0,137 + 0,137)(0,6 - 0,535)) = 1,294.$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання.

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_g = 0,758 \cdot D_{\text{сн}}^2 \cdot p = 0,758 \cdot 0,535^2 \cdot 0,16 = 0,036 \text{ МН.}$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_E \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,535 \cdot 0,0075 \cdot 2,5 \cdot 0,16 = 0,01 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$Q_{\text{тф}} = 8,05 \cdot 10^{-3} \text{ МН,}$$

$$\text{оскільки } \gamma \cdot z_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha'_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha'_6 \cdot t_6) = 8,05 \cdot 10^{-3} > 0,$$

де:

$$\alpha'_{\phi} = \frac{a'_{\phi 1} + a'_{\phi 2}}{2} = \frac{(1,7 + 1,7) \cdot 10^{-5}}{2} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}.$$

Монтажні болтові навантаження фланцевого з'єднання:

$$P'_{\text{Б1}} = \pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 0,535 \cdot 0,0075 \cdot 20 = 0,252 \text{ МН,}$$

$$P''_{\text{Б1}} = \alpha_{\phi} \cdot Q_g + R_n = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (0,036 + 0,09) + 0,01 = 0,01 \text{ МН,}$$

$$P'''_{\text{Б1}} = 0,4 \cdot [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \cdot z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} = 0,4 \cdot 540 \cdot 20 \cdot 3,25 \cdot 10^{-4} = 1,4 \text{ МН.}$$

Розрахункове монтажне болтове навантаження при  $P \leq 0,6 \text{ МПа}$  :

$$P_{\text{Б1}} = \max \{ P'_{\text{Б1}}, P''_{\text{Б1}}, P'''_{\text{Б1}} \} = \max \{ 0,252; 0,01; 1,4 \} = 1,4 \text{ МН.}$$

Умова міцності для неметалевої прокладки за формулою:

$$\frac{P_{\text{Б1}}}{\pi \cdot D_{\text{сн}} \cdot b} \leq [q],$$

$$\frac{1,4}{3,14 \cdot 0,535 \cdot 0,015} = 55,5 \leq 130.$$

Умова міцності виконується.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Болтове навантаження за робочих умов:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha_{\phi}) Q_g + Q_{i\phi} = 1,4 + (1 - 1,7 \cdot 10^{-5}) \cdot (0,036 + 0,09) + 8,05 \cdot 10^{-3} = 1,534 \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження на болти:

$$P_{Б\phi} = \max \{ P_{Б1}, P_{Б2} \} = \max \{ 1,4; 1,534 \} = 1,534 \text{ МН.}$$

Напруження розтягування болтів за умов монтажу:

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{1,4}{20 \cdot 3,25 \cdot 10^{-4}} = 220 \text{ МПа.}$$

Напруження розтягування болтів за робочих умов:

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{1,534}{20 \cdot 3,25 \cdot 10^{-4}} = 240 \text{ МПа.}$$

Скручуючий момент, що виникає при затягуванні гайок:

$$M_{скр} = f_1 \frac{P_{Б\phi}}{z_{Б}} d_{Б} = 0,1 \cdot \frac{1,534}{20} \cdot 0,022 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ МН} \cdot \text{м,}$$

де  $f_1 = 0,1$  – коефіцієнт тертя.

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_{Б} = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{1,68 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,020376^3} = 99,29 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах за формулою:

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{220^2 + 3 \cdot 99,29^2} = 279,24 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{БЕ}^t = \sqrt{(\sigma_{Б}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{240^2 + 3 \cdot 99,29^2} = 295,25 \text{ МПа.}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{БЕ}^{20} \leq [\sigma_{Б}]^{20},$$

$$279,24 \leq 540,$$

$$\sigma_{БЕ}^t \leq [\sigma_{Б}]^t,$$

$$295,25 \leq 460.$$

Умови міцності виконуються.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Розрахунок фланців на міцність.

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за умов монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{\text{б1}} (D_{\text{б}} - D_{\text{сн}}) = 0,5 \cdot 1,4 \cdot (0,6 - 0,535) = 0,045 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot (P_{\text{б2}} (D_{\text{б}} - D_{\text{сн}}) + Q_{\text{г}} (D_{\text{сн}} - D - S_0)) \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} =, \\ = 0,5 (1,534 (0,6 - 0,535) + 0,036 \cdot (0,535 - 0,5 - 0,005)) \frac{520}{420} = 0,062 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де:

$$\frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} = \max \left( \frac{[\sigma_{\phi1}]^{20}}{[\sigma_{\phi1}]^t}; \frac{[\sigma_{\phi2}]^{20}}{[\sigma_{\phi2}]^t} \right) = \max \left( \frac{520}{420}; \frac{520}{420} \right) = \frac{520}{420}.$$

Розрахунковий приведений згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця:

$$M_{\text{оф}} = \max \{ M_{01\phi}; M_{02\phi} \} = \max \{ 0,045; 0,062 \} = 0,062 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі фланців від дії згинаючого моменту:

$$\sigma_{\text{оф1}} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\phi} \cdot M_{\text{оф}} \cdot \omega_{\phi1}}{D_1 \cdot (S_1 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,813 \cdot 0,062 \cdot 10^{-3} \cdot 0,357}{0,5 \cdot (0,005 - 0,0012)^2} = 455,8 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{оф2}} = \psi_3 \cdot \frac{T'_{\phi} \cdot M_{\text{оф}} \cdot \omega_{\phi2}}{D_2 \cdot (S_2 - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,813 \cdot 0,062 \cdot 10^{-3} \cdot 0,357}{0,5 \cdot (0,005 - 0,0012)^2} = 455,8 \text{ МПа}.$$

Кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту:

$$\sigma_{\text{кф1}} = \frac{M_{\text{оф}} (1 - \omega_{\phi1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi1})) \psi_{2\phi}}{D_1 \cdot h_{\phi1}^2} = \frac{0,062 (1 - 0,357 (1 + 0,9 \cdot 0,48)) \cdot 8,14}{0,5 \cdot 0,024^2} = 85,6 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{кф2}} = \frac{M_{\text{оф}} (1 - \omega_{\phi2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi2})) \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi2}^2} = \frac{0,062 (1 - 0,357 (1 + 0,9 \cdot 0,48)) \cdot 8,14}{0,5 \cdot 0,024^2} = 85,6 \text{ МПа}.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Кільцеве і меридіальне напруження у втулці фланця від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{\text{xf1}} = \sigma_{\text{xf2}} = \frac{P \cdot D_1}{2 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,16 \cdot 0,5}{2 \cdot (0,005 - 0,0012)} = 10,52 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\text{yf1}} = \sigma_{\text{yf2}} = \frac{P \cdot D_1}{4 \cdot (S_1 - C)} = \frac{0,16 \cdot 0,5}{4 \cdot (0,005 - 0,0012)} = 5,26 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в перерізі втулки фланця:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Еф1}} &= \sqrt{(\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{yf1}})^2 + \sigma_{\text{xf1}}^2 - (\sigma_{\text{оф1}} + \sigma_{\text{yf1}}) \cdot \sigma_{\text{xf1}}} = \\ &= \sqrt{(455,8 + 5,26)^2 + 10,52^2 - (455,8 + 5,26) \cdot 10,52} = 455,8 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Еф2}} &= \sqrt{(\sigma_{\text{оф2}} + \sigma_{\text{yf2}})^2 + \sigma_{\text{xf2}}^2 - (\sigma_{\text{оф2}} + \sigma_{\text{yf2}}) \cdot \sigma_{\text{xf2}}} = \\ &= \sqrt{(455,8 + 5,26)^2 + 10,52^2 - (455,8 + 5,26) \cdot 10,52} = 455,8 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Перевіряємо умови міцності:

$$\sigma_{\text{Еф1}} \leq [\sigma_{\text{ф1}}] \varphi,$$

$$\sigma_{\text{Еф2}} \leq [\sigma_{\text{ф2}}] \varphi,$$

$$455,8 \leq 540 \cdot 0,9 = 486,$$

$$455,8 \leq 540 \cdot 0,9 = 486.$$

Умови міцності виконуються.

Перевіряємо виконання умов герметичності за формулою:

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D_1}{h_{\text{ф1}} \cdot E_{\text{ф1}}} = \frac{85,6 \cdot 0,5}{0,024 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0089 \leq [\theta] = 0,009,$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D_2}{h_{\text{ф2}} \cdot E_{\text{ф2}}} = \frac{85,6 \cdot 0,5}{0,024 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0089 \leq [\theta] = 0,009,$$

де при  $D \leq 2\text{м}$   $[\theta] = 0,009$  рад.

Умови герметичності виконуються.

Висновок: діючі напруження в фланцевому з'єднанні не перевищують допустимі напруження матеріалу фланців.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Приймаємо стандартні фланці за ГОСТ 12820-80:

зовнішній діаметр $D_{\phi}$ , м:	0,640;
діаметр болтового кола $D_b$ , м:	0,600;
товщина фланця $h_{\phi 1}$ , м:	0,024;
товщина фланця $h_{\phi 2}$ , м:	0,024;
кількість болтів $Z_b$ , шт.:	20;
діаметр болтів $d_b$ , м:	0,022.

### 5.10 Розрахунок стійкості циліндричної обичайки під дією опорних навантажень

Метою розрахунку є перевірка несучої спроможності циліндричної обичайки від дії опорних навантажень.

Для встановлення горизонтальних апаратів на робочому місці застосовують сідлові опори. Даний теплообмінник необхідно встановлювати на сідлових опорах типу 1.

Розрахункова схема опор зображена на рисунку 5.10.

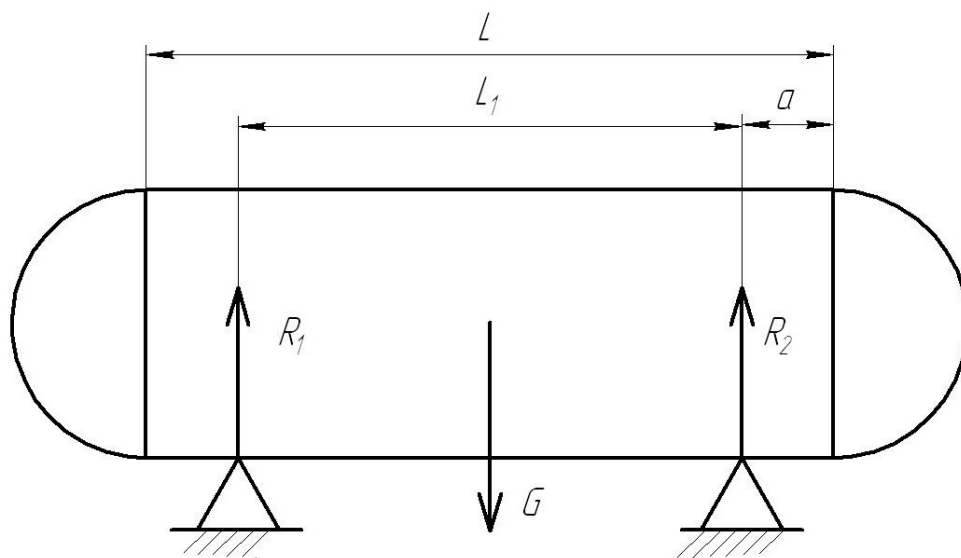


Рисунок 5.10 – Розрахункова схема опор

Вихідні дані для розрахунку:

Вага апарата G , МН:	0,00981;
кількість опор n:	2;
внутрішній тиск p, МПа:	0,1;
внутрішній діаметр обичайки D, м:	0,5;
товщина обичайки S, м:	0,005;
додаток до розрахункової товщини c, м:	0,001;
довжина циліндричної частини корпусу L, м:	4;
відстань між опорами l <sub>1</sub> , м:	2,4;
відстань від опори до краю циліндричної частини корпусу a, м:	0,8;
кут охоплення обичайки опорним листом δ, °:	140;
ширина листа b:	0,22;
матеріал корпусу:	Ст3сп;
допустиме напруження при розрахунковій температурі [σ] <sup>t</sup> , МПа:	145;
модуль пружності при розрахунковій температурі E <sup>t</sup> , МПа:	2·10 <sup>5</sup> ;
відстань від опори до найближчого зварного шва F, м:	0,5;

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в [13].

Розподілене навантаження за довжиною апарата:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} = \frac{0,00981}{4 + \frac{4}{3} \cdot 0,150} = 0,00233 \text{ МН/м,}$$

де Н – висота опуклої частини еліптичного днища.

Зосереджений момент:

$$M_0 = \frac{q \cdot D^2}{4} = \frac{0,00233 \cdot 0,5^2}{4} = 0,000145 \text{ МНм.}$$

Відношення:

$$\frac{a}{l_1} = \frac{0,8}{2,4} = 0,333.$$

Коефіцієнт ψ<sub>1</sub>, для n=2 ψ<sub>1</sub> = 1.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



Довжина вільно виступаючої частини еквівалентної посудини:

$$e = a_1 + \frac{2}{3} \cdot H = 0,8 + \frac{2}{3} \cdot 0,150 = 0,9 \text{ м.}$$

Опорне зусилля:

$$F_i = \psi_1 \cdot \frac{G}{n} = 1 \cdot \frac{0,00981}{2} = 0,004905 \text{ МН.}$$

Вигинаючий момент над і-тою опорою:

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 = \frac{0,00233 \cdot 0,9^2}{2} - 0,000145 = 7,986 \cdot 10^{-4} \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Максимальний вигинаючий момент між опорами:

$$M_{ij} = M_{12} = M_0 + F_1 \left( \frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} + \frac{4}{3} H \right)^2 =$$
$$= 0,000145 + 0,004905 \cdot \left( \frac{4}{2} - 0,8 \right) - \frac{0,00233}{2} \left( \frac{4}{2} + \frac{4}{3} \cdot 0,150 \right)^2 = 0,000392 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Поперечне зусилля в перерізі над і-тою опорою:

$$Q_i = 0,5 \cdot F_i = 0,5 \cdot 0,004905 = 0,00245 \text{ МН.}$$

Перевірка несучої спроможності обичайки, яка в області опорного вузла не підкріплена підкладним листом та кільцем жорсткості.

Умови застосування розрахункових формул і коефіцієнт міцності зварного шва:

$$60^\circ \leq \delta_1 = 140^\circ \leq 180^\circ.$$

Умова виконується.

$$\sqrt{D(S-c)} = \sqrt{0,5 \cdot (0,005 - 0,001)} = 0,044 < 0,11$$

Отже  $\varphi = 1$

Параметри системи:

Параметр, що визначається відстанню від вертикальної осі симетрії сідлової опори до днища:

$$\gamma = 2,83 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{S-c}{D}} = 2,83 \cdot \frac{0,8}{0,5} \sqrt{\frac{0,005 - 0,001}{0,5}} = 0,404.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Параметр, що визначається шириною сідлової опори:

$$\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(S-c)}} = 0,91 \frac{0,22}{\sqrt{0,5 \cdot (0,005 - 0,001)}} = 4,476.$$

Загальне осьове мембранне напруження, що діє в області приєднання опорного вузла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4 \cdot M_i}{\pi D^2 (S-c)} = \frac{4 \cdot 7,986 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot (0,005 - 0,001)} = 1,017 \text{ МПа.}$$

Розрахункова довжина циліндричної обичайки:

$$l = L = 4 \text{ м.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$\begin{aligned} [M]_M &= \frac{\pi}{4} D \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot [\sigma] = \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 0,5 \cdot (0,5 + 0,005 - 0,001) \cdot (0,005 - 0,001) \cdot 145 = \\ &= 0,114 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [M]_E &= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_c} D^3 \left[ \frac{100(S-c)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,5^3 \cdot \left[ \frac{100(0,005 - 0,001)}{0,5} \right]^{2,5} = 0,53 \text{ МН} \cdot \text{м,} \end{aligned}$$

де  $n_c$  – коефіцієнт стійкості,  $n_c = 2,4$ .

Допустимий вигинаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_M}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{0,114}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,114}{0,53} \right)^2}} = 0,111 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості циліндричної обичайки:

$$[F]_M = \pi(D + S - c)(S - c)[\sigma] = 3,14 \cdot (0,5 + 0,005 - 0,001)(0,005 - 0,001) \cdot 145 = 0,917 \text{ МН}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості в границях пружності:

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_c} D^2 \left[ \frac{100(S - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,5^2 \cdot \left[ \frac{100(0,005 - 0,001)}{0,5} \right]^{2,5} = 3,7 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{0,917}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,917}{3,7} \right)^2}} = 0,89 \text{ МН}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами міцності:

$$[Q]_M = 0,25\pi D(S - c)[\sigma] = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot (0,005 - 0,001) \cdot 145 = 0,227 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами стійкості в границях пружності:

$$[Q]_E = \frac{2,4E(S - c)^2}{n_c} \left[ 0,18 + 3,3 \frac{D(S - c)}{l^2} \right] = \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,005 - 0,001)^2}{2,4} \left[ 0,18 + 3,3 \frac{0,5 \cdot (0,005 - 0,001)}{4^2} \right] = 0,577 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля:

$$[Q] = \frac{[Q]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_M}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{0,227}{\sqrt{1 + \left( \frac{0,227}{0,577} \right)^2}} = 0,211 \text{ МН.}$$

Геометричні характеристики циліндричної обичайки без підкладного листа:

$$y = \frac{D}{S - c} = \frac{0,5}{0,005 - 0,001} = 125;$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{4}{0,5} = 8.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Коефіцієнт, що враховує заповнення апарата рідиною:

$$K_9 = \max \{ f(y, u); 1 \} = \max \{ 1; 1 \} = 1.$$

Коефіцієнти, що враховує вплив ширини поясу опори

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \left\{ \frac{e^{-4,476} \sin 4,476}{4,476}; 0,25 \right\} = 0,25;$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \cos \beta}{\beta} = \frac{1 - e^{-4,476} \cos 4,476}{4,476} = 0,22.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,1432 \delta_1}{\sin(0,5 \delta_1)} = \frac{1,15 - 0,1432 \cdot 2,44}{\sin(0,5 \cdot 2,44)} = 0,8525;$$

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \delta_1)} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot 2,44}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot 2,44)} = 0,07257.$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1}{\sin(0,5 \delta_1)} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 2,44}{\sin(0,5 \cdot 2,44)} = 0,42$$

Коефіцієнти, що враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15} = \min \left\{ 1, 0; \frac{0,8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1, 0; \frac{0,8\sqrt{0,404} + 6 \cdot 0,404}{2,44} \right\} = \min \{ 1, 0; 1,2 \} = 1$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,404)^2} \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 2,44}} = 0,93.$$

Коефіцієнти, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-c}} \cdot \frac{b}{D} \cdot \delta_1} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,5}{0,005 - 0,001}} \cdot \frac{0,22}{0,5} \cdot 2,44} = 0,237;$$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-c}} \cdot \delta_1} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,5}{0,005 - 0,001}} \cdot 2,44} = 0,068.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі між опорами.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Умова міцності:

$$\frac{pD}{4(S-c)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2(S-c)} \leq \varphi[\sigma];$$

$$\frac{pD}{4(S-c)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2(S-c)} = \frac{0,1 \cdot 0,5}{4(0,005 - 0,001)} + \frac{4 \cdot 0,000392 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot (0,005 - 0,001)} = 3,62 \text{ МПа};$$

$$\varphi[\sigma] = 0,9 \cdot 145 = 130,5 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Умова стійкості:

$$\frac{M_{12}}{[M]} = \frac{0,000392}{0,111} = 0,003 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Коефіцієнт  $K_2$ . За робочих умов  $K_2=1,2$ , за умов монтажу  $K_2=1$

Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$v_{21}^{(2)} = -\bar{\sigma}_{mx} \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = -1,017 \frac{1,2}{1,5 \cdot 145} = -5,611 \cdot 10^{-3};$$

$$v_{22}^{(2)} = \left( \frac{pD}{4(S-c)} - \bar{\sigma}_{mx} \right) \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \left( \frac{0,1 \cdot 0,5}{4(0,005 - 0,001)} - 1,017 \right) \frac{1,2}{1,5 \cdot 145} = 0,0116.$$

У точці 3:

$$v_{21}^{(3)} = 0;$$

$$v_{22}^{(3)} = \frac{pD}{2(S-c)} \cdot \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \frac{0,1 \cdot 0,5}{2(0,005 - 0,001)} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 145} = 0,034.$$

Коефіцієнт, що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

У точці 2:

Оскільки  $v_{21}^{(2)} < 0$  то

$$v_{11}^{(2)} = \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{0,23 \cdot 0,07257 \cdot 1}{0,8525 \cdot 0,25} = 0,0783.$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Оскільки  $v_{22}^{(2)} = 0,0116 > 0$  то

$$v_{12}^{(2)} = -\frac{0,23K_{13}K_{15}}{K_{12}K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,07257 \cdot 1}{0,8525 \cdot 0,25} = -0,0783.$$

У точці 3:

Оскільки  $v_{21}^{(3)} = 0$ , то

$$v_{11}^{(3)} = -\frac{0,53K_{11}}{K_{14}K_{16}K_{17}\sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,22}{0,42 \cdot 0,93 \cdot 0,237 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,44)} = -1,341.$$

Оскільки  $v_{22}^{(3)} = 0,034 > 0$ , то

$$v_{12}^{(3)} = -\frac{0,53K_{11}}{K_{14}K_{16}K_{17}\sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,22}{0,42 \cdot 0,93 \cdot 0,237 \cdot \sin(0,5 \cdot 2,44)} = -1,341.$$

Коефіцієнт  $K_1$ .

У точці 2

Оскільки  $v_{11}^{(2)} = 0,238 \neq 0$ , то

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}}{3(v_{11}^{(2)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{11}^{(2)})^2 [1 - (v_{21}^{(2)})^2]}{[1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,0783 \cdot (-0,005611)}{3 \cdot 0,0783^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,0783^2 \cdot [1 - (-0,005611)^2]}{[1 + 3 \cdot 0,0783 \cdot (-0,005611)]^2} + 1} - 1 \right) = 1,481;$$

$$K_{12}^{(2)} = \frac{1 + 3v_{12}^{(2)}v_{22}^{(2)}}{3(v_{12}^{(2)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{12}^{(2)})^2 [1 - (v_{22}^{(2)})^2]}{[1 + 3v_{12}^{(2)}v_{22}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,0783 \cdot (-0,005611)}{3 \cdot 0,0783^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot 0,0783^2 \cdot [1 - (-0,005611)^2]}{[1 + 3 \cdot 0,0783 \cdot (-0,005611)]^2} + 1} - 1 \right) = 1,481;$$

$$K_1^{(2)} = \min \{ K_{11}^{(2)}, K_{12}^{(2)} \} = \min \{ 1,481; 1,481 \} = 1,481;$$

У точці 3:

Оскільки  $v_{11}^{(3)} = -1,341 \neq 0$ , то

$$K_{11}^{(3)} = \frac{1 + 3v_{11}^{(3)}v_{21}^{(3)}}{3(v_{11}^{(3)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{11}^{(3)})^2 [1 - (v_{21}^{(3)})^2]}{[1 + 3v_{11}^{(3)}v_{21}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,341) \cdot (0)}{3 \cdot (-1,341)^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (-1,341)^2 \cdot [1 - (0)^2]}{[1 + 3 \cdot (-1,341) \cdot 0]^2} + 1} - 1 \right) = 0,560;$$

$$K_{12}^{(3)} = \frac{1 + 3v_{12}^{(3)}v_{22}^{(3)}}{3(v_{12}^{(3)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{12}^{(3)})^2 [1 - (v_{22}^{(3)})^2]}{[1 + 3v_{12}^{(3)}v_{22}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,341) \cdot 0,034}{3 \cdot (-1,341)^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (-1,341)^2 \cdot [1 - 0,034^2]}{[1 + 3 \cdot (-1,341) \cdot 0,034]^2} + 1} - 1 \right) = 0,585;$$

$$K_1^{(3)} = \min \{K_{11}^{(3)}, K_{12}^{(3)}\} = \min \{0,560; 0,585\} = 0,560.$$

Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$[\sigma_1]^{(2)} = K_1^{(2)} \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,481 \cdot 145 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 268,43 \text{ МПа.}$$

У точці 3:

$$[\sigma_1]^{(3)} = K_1^{(3)} \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 0,560 \cdot 145 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 101,5 \text{ МПа.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 2:

$$[F]^{(2)} = \frac{0,7 \cdot [\sigma_1]^{(2)} \sqrt{D \cdot (S - c) \cdot (S - c)}}{K_{10} K_{12}} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 268,43 \sqrt{0,5 \cdot (0,005 - 0,001) \cdot (0,005 - 0,001)}}{0,25 \cdot 0,8525} = 0,157 \text{ МН.}$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 3:

$$[F]^{(3)} = \frac{0,9 \cdot [\sigma_1]^{(3)} \sqrt{D \cdot (S - c) \cdot (S - c)}}{K_{14} K_{16} K_{17}} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 101,5 \sqrt{0,5 \cdot (0,005 - 0,001) \cdot (0,005 - 0,001)}}{0,42 \cdot 0,93 \cdot 0,237} = 0,176 \text{ МН.}$$

Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори, МН:

$$F_e = F_i \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{S - c}} K_{13} K_{15} = 0,004905 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{0,5}{0,005 - 0,001}} \cdot 0,07257 \cdot 1 = 0,00312$$

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left( \frac{Q_i}{[Q]} \right)^2 = \frac{0,0007986}{0,111} + \frac{0,00312}{0,89} + \left( \frac{0,00245}{0,211} \right)^2 = 0,010 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Умова міцності опорного вузла:

$$F_i \leq \min \{ [F]^{(2)}; [F]^{(3)} \};$$

$$0,004905 \text{ МН} < \min \{ 0,157; 0,176 \} = 0,157 \text{ МН.}$$

Умова міцності виконується.

Висновок: як показує розрахунок, стінка обичайки товщиною 5 мм витримує опорні навантаження, а тому застосовувати підкладний лист немає потреби.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69



## 6 Рекомендації з монтажу і експлуатації

Рекомендації розроблені відповідно до матеріалів викладених в [14].

Даний пункт містить рекомендації щодо забезпечення нормальної експлуатації апарата та умови проведення монтажу, які включають: спосіб проведення монтажу апарата, вимоги щодо положення апарата та окремих його частин, умови проведення випробувань, та шляхи забезпечення правильної експлуатації апарата.

Проектування окремих елементів та цілих посудин (включаючи запасні та змінні частини), та інструкція для транспортування та виконання монтажних робіт розробляються конструктором або організацією, що отримала дозвіл Держнаглядохоронпраці України для проведення відповідних роботи. При необхідності внесення змін в проекти та нормативні документи потрібно узгоджувати результати змін з організаціями-розробниками проектів та нормативних документів.

Конструкція повинна бути спроектована і виготовлена так, щоб вона була довговічною, безпечною в експлуатації та працездатною протягом заданого періоду служби, та давала можливість виявити та попередити завчасно можливі виходи з ладу. Також повинен забезпечуватись нагляд за станом апарату. В технічній документації виробу вказують максимально можливий розрахований незламний строк служби апарата.

Вибір способу проведення монтажних робіт залежить від конструкції, маси та габаритів обладнання. Для монтажу даного апарата рекомендується застосовувати метод підйому, оскільки даний апарат має великі габарити та масу. Для підймання та переміщення апарата під час монтажу використовують вантажопідйомні пристрої, вантажопідйомність яких достатня для підймання спроектованого апарата, а також він обладнаний ланцюгами або канатами які забезпечать охоплення всього апарата. Ланцюги або канати, які використовують при підйманні апарата повинні мати таку розривну напругу, яка буде перевищувати напруження, які викликати маса апарата. Фундамент повинен

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

мати масу більшу за масу теплообмінника в 1,5 – 2 рази. Основний матеріал фундаменту – бетон.

Під час встановлення апарата проводять перевірку на відхилення від горизонтальних та вертикальних міток напрямку та відхилення осей від осей в проектній документації.

Після встановлення апарата отримані відхилення головних осей не повинні перевищувати  $\pm 20$  мм. Габаритний розмір встановленого апарата по висоті може перевищувати розроблений не більш ніж на 10 мм. По вертикальній осі апарат може відхилятися на 3 мм на кожен метр висоти, але не більше ніж на 35 мм на всю висоту апарата. Вимірювання відхилень проводять за допомогою теодоліта, рівнеміра та виска.

Під час монтажу окремих частин апарата звертають увагу на відхилення в розташуванні фланцевих з'єднань від їх проектних міток. При монтажі комплектних деталей необхідно досягти співвісності всіх роз'ємних з'єднань. Також необхідно досягти співвісності трубопроводів, які монтуватимуть для підключення насосів та іншого теплообмінного обладнання.

Апарат проходить випробування після того, як закінчуються все монтажні та збиральні роботи. Перед випробуванням проводять підготовчі роботи та оглядають апарат і всі вузли сполучення. Також при огляді особливу увагу звертають на кришки, прилади, арматуру, прокладки, болти, заглушки та інші деталі, які впливають на герметичність апарата.

Випробування складаються з гідравлічного та пневматичних випробувань апарата разом з під'єднаними трубопроводами на випробувальний тиск, вказаний в проектних розрахунках. Під час випробування знову перевіряють герметичність місць де встановлені крани, клапани, вентилі та інші прилади, а також перевіряють щільність роз'ємних з'єднань.

Під час підготовки апарата до експлуатації перевіряють витрати теплоносіїв, температури теплоносіїв на вході та виході, тиск всередині апарата. При цьому звертають увагу на надійність та простоту керування апаратом та суміжною апаратурою.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

В акт випробування заносять всі дефекти та недоліки конкретного апарата, які були виявлені під час монтажу та випробувань.

Апарат вважають прийнятим в експлуатацію відразу після підписання акту прийому робіт монтажною компанією.

За рахунок впровадження обліку робіт та його ведення досягається правильна та безпечна експлуатація апарата.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Використання в апаратах стандартних та уніфікованих деталей сприяє скороченню витрат, спрощує ремонт обладнання та зменшує час необхідний для обслуговування. Стандартні деталі є взаємозамінними, та не потребують спеціального обладнання для монтажу.

Рівень стандартизації та уніфікації визначає насичення виробу стандартизованими та уніфікованими деталями, та оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Розрахунок ведеться за [15].

Коефіцієнт стандартизації :

$$K_c = \frac{n_c}{n_{заг}} = \frac{278}{347} = 0,8,$$

де  $n_c$  - кількість стандартних деталей,  $n_c = 278$ ;

$n_{заг}$  - загальна кількість деталей,  $n_{заг} = 347$ .

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності :

$$K_y = \frac{n_c + n_{ун}}{n_{заг}} = \frac{208 + 60}{226} = 0,97,$$

де  $n_{ун}$  -кількість уніфікованих деталей,  $n_{ун} = 60$ .

Висновок: розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, які становлять:  $K_c = 0,8$ ;  $K_y = 0,97$ .

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

### 8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення

Теплообмінні апарати широко використовуються у всіх існуючих галузях промисловості. Даний кожухотрубний теплообмінник використовується для нагрівання розчину етанолу.

На основі відомого кожухотрубного теплообмінника, що містить кожух, дві кришки, штуцери, а також дві трубні решітки із закріпленими в них теплообмінними трубами було запропоновано вдосконалення кожухотрубного теплообмінника.

Вдосконалення полягає в тому, що в корпус теплообмінника додається внутрішня обичайка шестигранної форми, що опирається на ребра жорсткості та розташована на відстані від зовнішньої обичайки. В утворений двома обичайками простір закладається пінополістирол для теплоізоляції корпусу. Також в еліптичні кришки пропонується додати подібну зварну конструкцію, що має вигляд зрізаної шестикутної піраміди та утворює з кришкою вільний простір в який закладається теплоізоляція у вигляді мінеральної вати, що дозволяє отримати стабільну температуру розчину етанолу на виході з апарата. Ці удосконалення забезпечують теплоізолювання корпусу від зовнішнього середовища без істотного ускладнення конструкції та збільшення габаритів апарата.

Таким чином виконані роботи дозволяють уникнути втрат тепла на нагрівання навколишнього середовища.

Алгоритм техніко-економічних показників базового та модернізованого апаратів (теплообмінників) представлено в [16].

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню теплообмінника

Вдосконалення апарата розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапи конструкторської підготовки. Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай вдосконалення устаткування хімічної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивність на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

Таблиця 8.1 – Техніко-економічні показники аналогів і нової розробки

Найменування показників	Одиниця виміру	Устаткування, яке підлягає модернізації	Нове аналогічне устаткування
1. Показники призначення			
Продуктивність	кг/с	1,5	1,611
Тип контактних пристроїв	—	Труби	Труби
Маса труби	кг	4	4,5
Вартість труби	грн	700	675
Кількість труб	—	60	60
Основний матеріал	—	Сталь 09Г2С	Сталь 12Х18Н10Т

Продовження таблиці 8.1 «Техніко-економічні показники аналогів і нової розробки» знаходиться на наступній сторінці.

Продовження таблиці 8.1 – Техніко-економічні показники аналогів і нової розробки

Діаметр кожуха	мм	500	500
Висота	мм	770	770
Маса	кг	1050	1050
2. Показники безпеки робочого середовища			
Клас небезпечності за ГОСТ 12.1.007-76	—	До 1 кл.	До 1 кл.
Пожежонебезпека за ГОСТ 12.1.004-91	—	Вибухо-пожежонебезпечне	Вибухо-пожежонебезпечне
Категорія вибухонебезпечності за ГОСТ Р 513305-99	—	В-1а	В-1а
3. Економічні показники			
Ринкова ціна нового аналогічного устаткування	тис. грн	—	250
Балансова(первісна) вартість устаткування	тис. грн	220	—
Залишкова вартість устаткування, яке підлягає модернізації	тис. грн	0	—

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат, який розраховується за формулою:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} + \alpha\beta + S_{\alpha i}},$$

де  $M_i$  – сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.; (поточних);

$S_{ei}$  – перевищення експлуатаційних витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн;

$K_{Hi}$  – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.

$\alpha$  – коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$\beta$  – коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$S_{\alpha i}$  – втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Величина сукупних витрат на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі:

$$M_i = \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 220000 \cdot 0,06 = 13200 \text{ грн},$$

де  $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}}$  – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації, згідно даних підприємств, де експлуатується аналогічне обладнання, первісна вартість теплообмінника  $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 220$  тис. грн.;

$K_i$  – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації, в даному випадку  $K_i = 0,06$  для теплообмінних апаратів.

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрат на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням  $S_{e_i}$  може бути розрахована по формулі:

$$S_{e_i} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 0,12 \cdot 220000 - 0,1 \cdot 250000 = 1400 \text{ грн},$$

де  $q_{b_i}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, в даному випадку  $q_{b_i} = 0,12$  – для теплообмінних апаратів;

$q_{b_n}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, в даному випадку  $q_{b_n} = 0,1$  для теплообмінних апаратів;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 250000$  грн – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{10250}{9700} = 1,057,$$

де  $T_{\text{мод}}$  – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;

$T_{\text{нов}}$  – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Коефіцієнт співвідношення продуктивності вдосконаленого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\alpha$  розраховується по формулі [14]:

$$\alpha = \frac{P_i}{P_{\text{нов}}} = \frac{1,2}{1,611} = 0,7448,$$

де  $P_i = 1,2$  кг/с – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації;

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

$\Pi_{\text{нов}} = 1,611$  кг/с – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування.

Таблиця 8.1 – Значення коефіцієнту ефективності витрат  $n_{p_i}$  на модернізацію устаткування.

Величина коефіцієнта $n_{p_i}$	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{p_i} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{p_i} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{p_i} = 0$	Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

Коефіцієнт ефективності витрат:

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} + \alpha\beta + S_{\alpha_i}} = 1 - \frac{13200 + 1400}{250000 + 1,11 \cdot 1,057 + 0} = 0,94$$

де  $S_{\alpha_i} = 0$  – втрати від не до амортизації устаткування, яке підлягає модернізації;

$K_{H_i}$  – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.

Висновок: оскільки  $n_{p_i} = 0,94 > 0$ , то модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна.

## Висновки

В дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація кожухотрубного теплообмінника установки виробництва етилового спирту. Комплексний», проведено модернізацію кожухотрубного теплообмінника призначеного для нагрівання розчину етанолу з 293 К до 356,75К та продуктивністю 1,611кг/с.

Для виконання поставленого завдання проведено огляд існуючих конструкцій на основі якого зроблено обґрунтований вибір конструкції апарата. Проаналізовано і порівняно вибрану конструкції з кращими вітчизняними і світовими аналогами в результаті чого встановлено, що апарат не містить принципових рішень запропонованих в розглянутих патентах.

Здійснені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції. Виконаний параметричний розрахунок, і розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (визначення товщини стінки внутрішньої обичайки, днища, розрахунок товщини трубної решітки, розрахунок фланцевого з'єднання, розрахунок стійкості циліндричної обичайки під дією опорних навантажень). Розрахунки на міцність виконані згідно діючих державних та галузевих стандартів.

Графічна частина проекту виконана у середовищі КОМПАС 3D V17.1 та включає в себе чотири аркуші формату А1, що містять: технологічну схему установки виробництва етилового спирту, складальне креслення теплообмінника і чотири креслення формату А2. До складальних креслень складені специфікації.

Результати проведених розрахунків зведені в розрахунково-пояснювальну записку, що включає дані відповідності розробленої конструкції вимогам техніки безпеки. Наведені рекомендації з виготовлення, монтажу й експлуатації розробленого апарата.

За період виконання проекту отримано два деклараційних патенти України на корисну модель №128851 U F28D 7/00 та №128852 U F28D 7/00, а також опубліковано дві тези на XXIII та на XXIV Всеукраїнських науково – практичних

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів».

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Выводы

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» на тему «Модернизация кожухотрубного теплообменника установки производства этилового спирта. Комплексный», проведена модернизация кожухотрубного теплообменника предназначенного для нагревания раствора этанола с 293 К до 356,75 К и производительностью 1,611 кг/с.

Для выполнения поставленной задачи проведен обзор существующих конструкций на основе которого сделан обоснованный выбор конструкции аппарата. Проанализировано и сделано сравнение выбранной конструкции с лучшими отечественными и мировыми аналогами в результате чего установлено, что аппарат не содержит принципиальных решений предложенных в рассмотренных патентах.

Осуществлены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции. Выполненный параметрический расчет и расчеты на прочность основных узлов и деталей аппарата (определение толщины стенки внутренней обечайки, днища, расчет толщины трубной решетки, расчет фланцевого соединения, расчет стойкости цилиндрической обечайки под действием опорных нагрузок). Расчеты на прочность выполнены согласно действующих государственных и отраслевых стандартов.

Графическая часть проекта выполнена в среде КОМПАС 3D V17.1 и включает в себя четыре листа формата A1, содержащие: технологическую схему установки производства этилового спирта, сборочный чертеж теплообменника и четыре чертежа формата A2. К сборочным чертежам составлены спецификации.

Результаты проведенных расчетов сведены в расчетно-пояснительную записку, включающую данные соответствующие разработанной конструкции требованиям техники безопасности. Приведены рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации разработанного аппарата.

За период выполнения проекта получено два декларационных патента Украины на полезную модель №128851 U F28D 7/00 и №128852 U F28D 7/00, а

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		82

также опубликовано два тезиса на XXIII и на XXIV Всеукраинских научно - практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Оборудование химических производств и предприятий строительных материалов».

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Conclusions

In the Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of shell and tube heat exchanger of ethyl alcohol production plant. Complex " the modernization of the shell and tube heat exchanger to heat ethanol solution was designed from 293K to 356.75K and a productivity of 1.611kg / s.

To accomplish the task, a review of existing structures was carried out, on the basis of which a substantiated choice of the design of the device was made. The comparatively selected designs with the best domestic and world analogues were analyzed and as a result it was established that the device does not contain the principal solutions are proposed in the considered patents.

The calculations have been carried out, confirming the efficiency and reliability of the design. The parametric calculation and calculations on the strength of the main units and parts of the device (determination of the thickness of the wall of the cylindrical shell, the bottom, the calculation of the flange connection, the calculation of the supporting loads) were carried out. The calculations on durability were executed in accordance with current state and industry standards.

The graphic part of the project is made in COMPAS 3D V17.1 and includes four sheets of A1 format, containing: the technological scheme of the plant of the production of ethyl alcohol, the assembly drawing of the heat exchanger and four drawing of A2 format. The specifications were made for assembly drawings.

The results of the calculations are summarized in the explanatory note, which includes the data of conformity of the developed design to safety requirements. The recommendations for the manufacturing, installation and operation of the developed device are given.

During the period of performance of the project the declarative patents were obtained for utility model №№128851 U F28D 7/00 and №128852 U F28D 7/00, and two reports were published at XXIII and XXIV Ukrainian scientific conference of students and young scientists: "Equipment of chemical manufactures and enterprises of building materials".

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік посилань

1. Смирнова Анастасия. Производство этилового спирта из картофеля [Электронный ресурс] / А. Смирнова. – Електронні текстові дані. – Москва: МГУИЭ, 2010. – Режим доступа: <https://xreferat.com/46/840-1-proizvodstvo-etilovogo-spirta-iz-kartofelya.html>, вільний.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Химия. 1987.- 576 с.
3. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.[]
4. Патент № 128707U Україна, МПК(2006.01) F28D 7/00, F28D 1/00, заявлено 31.01.2018, опубл. 10.10.2018.
5. Патент № 117557U Україна, МПК(2006.01) F28D 7/00, заявлено 10.02.2017, опубл. 26.06.2017.
6. Патент № 124282U Україна, МПК(2006.01) F28F 1/42, F28F 9/00, F28D 7/08, заявлено 12.12.2017, опубл. 26.03.2018.
7. Патент № US20180372427 США, МПК(2006.01) F28F 1/36, F28F 1/42, F28D 7/16, B21C 37/20, заявлено 25.11.2016, опубл. 27.12.2018.
8. Патент № US20190107339 США, МПК(2006.01) F28F 9/22, F28D 7/16, заявлено 02.03.2017, опубл. 11.04.2019.
9. Основи охорони праці/ [Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.]; під ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. —[2 – е вид.]. — Київ: Основа, 2006. – 448 с.
10. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. «Наука». Москва, 1972 г.
11. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. — Л.: Химия, 1991. — 352 с., ил.
12. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонюк . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85



13. .Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1995 – 182 с.

14. Мікульонок І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв– Київ НТУУ «КПІ», 2012 – 442с.

15. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств/ В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, Г. Грун, В. Ной-манн. — М.; Химия, 1987. 272 с.

16. А. М. Задольський. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ, 2010 р. – 27 с.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додаток А

### Документація до патентного дослідження

#### РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.06РП

Найменування теми Кожухотрубний теплообмінник шифр теми ЛН51.065111.001

Етап Проектування кожухотрубного теплообмінника та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН51.06, 07.04.2019

Обґрунтування регламенту пошуку:

**Предмет пошуку** – 1) кожухотрубний теплообмінник (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо кожухотрубних теплообмінників (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2017–2019 р.р.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: МПК F28F 7/00, F28D1/00.

**Уніфікована десяткова класифікація** УДК 66.045

**Джерела інформації.** 1) патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Держпатенту України, Роспатенту; 2) науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва; 3) інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>, <http://www.uipv.org>, <http://uapatents.com>, [www.freepatent.ru/](http://www.freepatent.ru/), <http://www1.fips.ru/>,.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Початок пошуку 07.04.2019 Закінчення пошуку 17.04.2019

### РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.06ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.065111.000 07.02.2019  
(номер , дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата регламентного пошуку ЛН51.06.РП 07.02.2019

Початок пошуку 07.04.2019 Закінчення пошуку 17.04.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма Б.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, УДК	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Кожухотрубний теплообмінник	Визначення патентно-здатності та патентної чистоти проектового апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці.	Україна, Російська Федерація, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.	МПК (2006.01), F28F7/00, F28D1/00, УДК 66.045.	2017 – 2019.	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Таблиця А.2 – Джерела інформації, використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація
Кожухотрубний теплообмінник	Україна, РФ, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія.	МПК (2006.01), F28F 7/00, F28D 1/00, УДК 66.045.	Фонд НТУУ “КПІ” Державний патентний фонд бази даних об’єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espace.net.com/">http://ep.espace.net.com/</a> , <a href="http://www.uipv.org">http://www.uipv.org</a> , <a href="http://uapatents.com">http://uapatents.com</a> , <a href="http://www.freepatent.ru/">www.freepatent.ru/</a> , <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>	Описи винаходів патентів України № 1–41000. Описи корисних моделей патентів України № 1–1050. Описи винаходів патентів Російської Федерації № 2000000–2140000.	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971.– 785 с. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1983.– 272 с.

Таблиця А.3 Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	бібліографічні дані	відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Кожухотрубний теплообмінник	Патент № 128707U Україна, МПК(2006.01) F28D 7/00, Кожухотрубний теплообмінник/ Кичак Руслан Віталійович (UA). Заявка № u 2018 00882, 31.01.2018; Опубл.10.10.2018, Бюл. № 19.	Діє
Секційний кожухотрубний теплообмінник	Патент № 117557U Україна, МПК(2006.01) F28D7/00, Секційний кожухотрубний теплообмінник /Мікульонок Ігор Олегович(UA). Заявка № u 2017 01220, 10.02.2017; Опубл.26.06.2017, Бюл. № 12.	Діє
Кожухотрубний теплообмінник	Патент № 124282U Україна, МПК(2006.01) F28D7/08, Кожухотрубний теплообмінник/Шиховцев Євгеній романович (UA), Степанюк Андрій Романович (UA). Заявка № u 2017 12289, 12.12.2017; Опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6	Діє
Кожухотрубний теплообмінник	Patent US2018/0372427 A1 Int. CI.,F28D 7/16. Shell and tube heat exchanger/Rolle S.P.A. (US); Appl. № 16/063,378; F. 25.11.2016, Pub. 27.12.2018.	Діє
Трубний теплообмінник	Patent US 2019/0107339 A1, Int. CI., F28D7/16. Tube heat exchanger / Atlas copco airpower; Appl. № 16/086,348; F. Mar.2.2017, Pub. Apr.11.2019.	Діє

Таблиця А.4 – Інша науково-технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Кожухотрубний теплообмінник	Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии.	М.: Химия, 1991. - 496с.
Кожухотрубний теплообмінник	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты хим. технологии	М.: Химия, 1971 – С.387
Кожухотрубний теплообмінник	Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч./ Я. М. Корнієнко	К.: НТУУ «КПІ», 2011. – Ч.2. – 416 с.

#### Висновок

У результаті проведених патентних досліджень встановлено:

Пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додаток Б

### Програмний розрахунок товщини еліптичного днища під дією внутрішнього тиску

На рисунку Б.1 зображено блок – схему до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском



Рисунок Б.1 – Блок – схема розрахунку циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском

# Програма розрахунку товщини стінки

$$D := 0.5 \quad P := 0.1 \quad \sigma_{dop} := 152 \quad \varphi := 0.9$$

$$S_r := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma_{dop} \cdot \varphi - 0.5P} = 1.828 \times 10^{-4} \quad \underline{\underline{S_r}} := 0.004$$

$$C1 := 0.001 \quad C2 := 0 \quad C3 := 0 \quad \underline{\underline{C}} := C1 + C2 + C3 = 1 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\underline{S}} := S_r + C1 + C2 + C3 = 5 \times 10^{-3}$$

$$H := 0.25 \cdot D = 0.125$$

$$\underline{\underline{R}} := \frac{D^2}{4 \cdot H} = 0.5$$

$$P_{dop} := \frac{2 \cdot (S - C) \cdot \sigma_{dop} \cdot \varphi}{R + 0.5(S - C)} = 2.18 \quad 0.1 < 2.18$$

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ідентифікатори роз'яснені в таблиці Б.1

Таблиця Б.1 перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифі- катор	Розмірність
1	2	3	4
Діаметр апарата	$D$	D	м
Зовнішній тиск	$P$	P	МПа
Допустиме напруження	$[\sigma]$	$\sigma_{dop}$	МПа
Коефіцієнт зварного шва	$\varphi$	$\varphi$	
Розрахункова товщина стінки	$S_R$	Sr	м
Сумарна прибавка на компенсацію корозії, допуску	$C$	C	м
Виконавча товщина стінки	$S$	S	м
Висота еліптичної частини днища	$H$	H	м
Радіус еліптичної частини днища	$R$	R	м
Допустимий тиск з умови міцності	$[P]$	Pdop	МПа

Результати розрахунку за програмою розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки навантаженої зовнішнім тиском приведені в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – результати розрахунку

Найменування величини	Позначення	Числове значення	Розмірність
1	2	3	4
Розрахункова товщина стінки	$S_R$	0,00018	м
Виконавча товщина стінки	$S$	0,005	м
Висота еліптичної частини днища	$H$	0,125	м
Радіус еліптичної частини днища	$R$	0,5	м
Допустимий зовнішній тиск	$[P]$	2,18	МПа

**Додаток В**  
**Патенти, які використані в патентному дослідженні**

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додаток Г

### Публікації автора

Студента кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв **Ковалю Вадима Олександровича**.

1) Коваль В.О. Кожухотрубний теплообмінник з теплоізованим міжтрубним простором. Коваль В.О., Андреев І.А. // Збірник тез доповідей XXIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"(28-29 листопада 2018 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 103 с

2) Коваль В.О. Кожухотрубний теплообмінник з теплоізованим трубним простором. Коваль В.О., Андреев І.А. // Збірник тез доповідей XXIV всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"(22-23 квітня 2019 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018 – 105 с

3) Патент № 128851 України. МПК (2018.01) F28D 7/00. Кожухотрубний теплообмінник/ Андреев І.А., Мікульонок І.О., Коваль В.О.; заявники Андреев І.А., Мікульонок І.О., Коваль В.О.; № 2018 04090; заявл. 16.04.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

4) Патент № 128852 України. МПК (2018.01) F28D 7/00. Кожухотрубний теплообмінник/ Андреев І.А., Мікульонок І.О., Коваль В.О.; заявники Андреев І.А., Мікульонок І.О., Коваль В.О.; № 2018 04092; заявл. 16.04.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

					ЛН51.065111.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97